



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**CARACTERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA CONSTRUTIVA
DE ELADIO DIESTE: CONTRIBUIÇÕES PARA A
INOVAÇÃO DO PROJETO ARQUITETÔNICO E DA
CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL**

Autora: Maria Cristina Ramos de Carvalho

Orientador: Humberto Ramos Roman

Tese apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia.

Florianópolis, setembro de 2004

Maria Cristina Ramos de Carvalho

**CARACTERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA CONSTRUTIVA
DE ELADIO DIESTE: CONTRIBUIÇÕES PARA A
INOVAÇÃO DO PROJETO ARQUITETÔNICO E DA
CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL**

Tese apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Humberto Ramos Roman

Florianópolis, 2004

CARVALHO, Maria Cristina Ramos de. ***Caracterização da tecnologia construtiva de Eladio Dieste: contribuições para a inovação do projeto arquitetônico e da construção em alvenaria estrutural***. Florianópolis, 2004. 209p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Humberto Ramos Roman

Defesa: 06/08/2004

Neste trabalho estuda-se a contribuição de Eladio Dieste para a inovação nos processos de projeto e de construção de obras em alvenaria estrutural, nas quais ocorre uma forte interferência entre os aspectos arquitetônicos e estruturais na definição do sistema construtivo. É feita uma revisão dos métodos e processo de projeto arquitetônico, dos parâmetros para a geração da forma, da evolução dos processos construtivos, em geral, e da alvenaria estrutural, em particular, considerando estrutura e forma arquitetônica, sistemas reticulados e laminares, características técnicas de material, de execução e de mão de obra. Propõe-se uma sistematização para a tecnologia construtiva empregada por Eladio Dieste, de modo a permitir a aplicação dos conhecimentos desenvolvidos para as variadas tipologias.

Maria Cristina Ramos de Carvalho

**CARACTERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA CONSTRUTIVA DE ELADIO DIESTE:
CONTRIBUIÇÕES PARA A INOVAÇÃO DO PROJETO ARQUITETÔNICO E DA
CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL**

Esta tese foi julgada e aprovada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia
pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade
Federal de Santa Catarina (UFSC).

Florianópolis, 06 de agosto de 2004.

Prof. HENRIETTE LEBRE LA ROVERE, Ph. D.
Coordenadora do PPGEC

BANCA EXAMINADORA:

Prof. HUMBERTO RAMOS ROMAN, Ph.D. UFSC (Orientador)

Prof. HENRIETTE LEBRE LA ROVERE, Ph.D. UFSC

Prof. FERNANDO BARTH, Dr. UFSC

Prof. FLÁVIO ANTÔNIO DOS SANTOS, Ph.D. CEFET-MG

Prof. HUGO LUCINI, Dr. UNIVALI

À minha filha Ana Terra.

E, em memória, aos meus pais Tasso e Dolores que me guiaram nos primeiros passos
desta caminhada.

Agradecimentos

A todos aqueles que me apoiaram nesta fase de minha vida e, especialmente, àqueles que não poderia deixar de agradecer:

Ao Prof. Humberto pela orientação, apoio e amizade constantes durante todo o período de realização deste trabalho, tornando esta uma experiência rica e agradável.

Ao Flávio pela disponibilidade e amizade em todos os momentos, incentivando permanentemente as discussões e o andamento deste trabalho.

Ao CEFET-MG e à CAPES pelo apoio institucional e financeiro que permitiram o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Hugues Rivard, pelo apoio e ensinamentos durante minha estada em Concordia University.

Aos profissionais que trabalham ou trabalharam na empresa *Dieste y Montañez*, a quem muito admirei pelo respeito à pessoa e à obra de Dieste, por terem sido tão amáveis, gentis e, acima de tudo, disponíveis, mostrando-se interessados em disponibilizar e contribuir com a realização deste estudo e que devem ser citados pelos nomes: Adriana, Castro, Claudia, Chiquita, Eduardo, Esteban, Lucía e Walter. E, especialmente, ao Gonzalo Larrambebere que, além de possibilitar minha visita, contribuiu muito com informações e discussões que permitiram a conclusão deste trabalho.

Ao Remo Pedreschi pelas contribuições e discussões sobre a obra de Dieste.

Aos Profs. Edson e Sinha pela disposição em discutir o tema deste trabalho.

Aos amigos que fiz e às amigadas que se firmaram ao longo desta caminhada, especialmente aqueles que contribuíram diretamente para a realização deste trabalho: Adriano, Ahmed, Alex, Babak, Farnaz, Gray, Juracy, João Maurício, Kene, Mara, Mota e Sathya.

Aos colegas de trabalho e amigos do CEFET-MG.

Aos colegas, professores e funcionários da UFSC e da Concordia University.

À Ana Terra pela paciência, apoio e compreensão, com pedido de desculpas pelas minhas ausências neste período importante de sua adolescência.

Ao meu marido Martin pelo companheirismo.

À toda minha família que sempre me apoiou e ajudou da melhor maneira que puderam. E, particularmente, à Cláudia pelo apoio incondicional, pela compreensão e pelas orientações sempre sábias.

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
 CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	
Considerações iniciais	1
1.1 Evolução do uso da alvenaria estrutural no Brasil	2
1.2 Justificativa e relevância do estudo	7
1.3 Objetivos	9
1.3.1 Objetivo geral	9
1.3.2 Objetivos específicos	9
1.4 Estrutura de apresentação do trabalho	10
 CAPÍTULO 2. PROCESSO DE PROJETO EM ARQUITETURA E PROCESSOS CONSTRUTIVOS	
Considerações iniciais	12
2.1 Processo de projeto em arquitetura	14
2.1.1 A contextualização da arquitetura	16
2.1.2 Composição arquitetônica	18
2.1.3 A geração da forma arquitetônica: métodos de composição	19
2.1.4 Idéias formativas	26
2.1.5 O caráter individual na geração da forma arquitetônica	27
2.1.6 A qualidade na atividade de projeto arquitetônico	40
2.2 Processos construtivos	42
2.2.1 O perfil da construção civil no Brasil	43

Sumário

2.2.2	Métodos construtivos: forma segue estrutura	46
2.3	O processo construtivo em alvenaria estrutural	51
2.3.1	Procedimentos e requerimentos do projeto arquitetônico	55
2.3.2	Arranjos estruturais	58
 CAPÍTULO 3. METODOLOGIA		
3.1	Metodologia empregada	62
3.2	Desenvolvimento do trabalho	63
3.2.1	Estudo da literatura	63
3.2.2	Pesquisa de campo e documentação das obras	64
3.2.3	Discussão e sistematização da obra de Eladio Dieste	66
 CAPÍTULO 4. A PROPOSTA ARQUITETÔNICA DE ELADIO DIESTE: IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS ASPECTOS RELEVANTES		
	Considerações iniciais	68
4.1	A formação de Eladio Dieste Saint Martin	70
4.2	A arquitetura nas obras de Eladio Dieste	74
4.3	A geração da forma nos projetos arquitetônicos de Dieste	77
4.4	O contexto arquitetônico nas relações funcionais e morfológicas	83
4.4.1	Igreja do <i>Cristo Obrero</i> em Atlantida	85
4.4.2	Igreja de <i>San Pedro</i> em Durazno	97
4.5	Material, textura e iluminação natural	103
4.5.1	Igreja do <i>Cristo Obrero</i> em Atlantida	107
4.5.2	Igreja de <i>San Pedro</i> em Durazno	112
4.6	Considerações finais	116
 CAPÍTULO 5. A TECNOLOGIA CONSTRUTIVA NAS OBRAS DE ELADIO DIESTE: TIPOLOGIAS, DETALHES CONSTRUTIVOS E PROCESSO DE PRODUÇÃO		
	Considerações iniciais	119
5.1	O material cerâmico	120

Sumário

5.2	Tipologias e tecnologia construtiva	121
5.2.1	Tipologias em abóbadas	122
5.2.1.1	Abóbadas gaussianas ou de curvatura dupla	127
5.2.1.2	Abóbadas autoportantes de diretriz catenária	134
5.2.1.3	Processo de execução de abóbadas	146
5.2.2	Superfícies regradas	149
5.2.2.1	Igreja de Atlantida: estrutura e técnicas construtivas	154
5.2.2.2	Processo de execução de superfícies regradas	161
5.2.3	Superfícies em planos	166
5.2.3.1	Igreja de Durazno: estrutura e técnicas construtivas	167
5.3	Processo de produção	175
5.3.1	Características geométricas e mecânicas do material cerâmico	176
5.3.2	Juntas, argamassas, armaduras e protensão	179
5.3.3	Moldes modulares, gabaritos e prazos de desforma	183
5.3.4	Mão de obra e equipes de trabalho	187
5.4	Considerações finais	188
 CAPÍTULO 6. SISTEMATIZAÇÃO DA TECNOLOGIA CONSTRUTIVA DESENVOLVIDA POR ELADIO DIESTE		
	Considerações iniciais	189
6.1	Parâmetros do processo de projeto arquitetônico	189
6.2	Parâmetros do processo de produção	191
6.3	Contribuições de Eladio Dieste	192
6.4	Discussão crítica da tecnologia de Eladio Dieste	195
 CAPÍTULO 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES		
7.1	Conclusões	198
7.2	Recomendações	199
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		200

Lista de Figuras

Capítulo 1

Figura 1.1 - Edifícios residenciais em alvenaria estrutural até o pavimento térreo, em Belo Horizonte	3
Figura 1.2 - Edifícios residenciais em alvenaria estrutural com pilotis em estrutura convencional de concreto armado	3
Figura 1.3 - Edifícios residenciais de doze e dezoito pavimentos construídos em alvenaria estrutural armada	4
Figura 1.4 - Pavilhão dos Produtores do CEASA, em Porto Alegre	5
Figura 1.5 - Exemplos de construções inovadoras em alvenaria estrutural por Eladio Dieste	6

Capítulo 2

Figura 2.1 - Vista da cúpula de <i>Santa Maria Del Fiore</i>	15
Figura 2.2 - Edifício Larkin: Frank Lloyd Wright	20
Figura 2.3 - Segmento áureo	22
Figura 2.4 - Retângulo áureo	22
Figura 2.5 - <i>Modulor</i> de Le Corbusier	23
Figura 2.6 - <i>Villa Capra</i> : Andrea Palladio	24
Figura 2.7 - <i>Taj Mahal</i>	25
Figura 2.8 - Detalhes compositivos do <i>Taj Mahal</i>	25
Figura 2.9 - Casa da Cascata: Frank Lloyd Wright.	29
Figura 2.10 - Exemplos da arquitetura de Mies van der Rohe	29
Figura 2.11 - Primeira Igreja Unitária de Rochester: Louis Kahn	30
Figura 2.12 - Exemplos da arquitetura de Louis Kahn	30
Figura 2.13 - <i>Villa Savoye</i> de Le Corbusier: vista externa e detalhe da escada	31
Figura 2.14 - Capela de <i>Notre Dame du Haut</i> , em Ronchamp: Le Corbusier	32
Figura 2.15 - Planta de Ronchamp: croquis sobre retícula cartesiana	32
Figura 2.16 - Exemplos da arquitetura moderna de Le Corbusier	33

Lista de Figuras

Figura 2.17 - Igreja da Pampulha: Oscar Niemeyer	39
Figura 2.18 - Palácio da Alvorada: Oscar Niemeyer	34
Figura 2.19 - Catedral de Brasília: Oscar Niemeyer	35
Figura 2.20 - Casa Milá: Gaudi	36
Figura 2.21 - Igreja da Sagrada Família: Gaudi	37
Figura 2.22 - <i>Frontón Recoletos</i> : Eduardo Torroja	38
Figura 2.23 - Mercado de Algeciras: Eduardo Torroja	38
Figura 2. 24 - Projetos residenciais de Mario Botta: maquetes eletrônicas	39
Figura 2.25 - Projetos residenciais de Alvar Aalto: maquetes eletrônicas	39
Figura 2.26 - Projeto para o Mercado de Genebra	49
Figura 2.27 - Exemplos de obras em alvenaria estrutural, em São Paulo: racionalização construtiva	53
Figura 2.28 - Requerimentos do projeto arquitetônico: algumas complexidades do processo	57
Figura 2.29 - Arranjos típicos em alvenaria estrutural	59
Figura 2.30 - Exemplo de arranjo complexo de paredes	60

Capítulo 4

Figura 4.1 - Casa Berlinghieri: primeira experiência de Dieste em abóbadas cerâmicas	72
Figura 4.2 - Obras de Eladio Dieste em cerâmica armada, no Uruguai: expressividade e linguagem inovadora	75
Figura 4.3 - Obras de Eladio Dieste em cerâmica armada, no Brasil: expressividade e linguagem inovadora	76
Figura 4.4 - Perspectiva simplificada da Igreja de Atlantida	78
Figura 4.5 - <i>Refrescos Del Norte</i> : exploração formal das estruturas em abóbadas autoportantes	79
Figura 4.6 - <i>Montevideo Shopping</i> : fachadas em superfícies regradas	79
Figura 4.7 - Maquete da Igreja de Malvin	80
Figura 4.8 - Planta da Igreja de Malvin: projeto síntese da filosofia religiosa e formal de Dieste	81

Lista de Figuras

Figura 4.9 - Plantas em níveis de <i>San Juan</i> de Ávila, na Espanha: detalhes da geometria	82
Figura 4.10 - Igreja de <i>San Juan</i> de Ávila, na Espanha	83
Figura 4.11 - Depósito do Porto, em Montevideu: exploração formal da arquitetura	84
Figura 4.12 - Vista geral da Igreja do <i>Cristo Obrero</i> , em Atlantida: relação íntima entre estrutura e forma arquitetônica	86
Figura 4.13 - Planta da Igreja de Atlantida	87
Figura 4.14 - Cortes longitudinal e transversal da Igreja de Atlantida	88
Figura 4.15 - Vista interna do altar-mor da Igreja de Atlantida: integração com os fiéis	89
Figura 4.16 - Estudo de projeto para a solução do altar-mor da Igreja de Atlantida	89
Figura 4.17 - Vista geral do interior da Igreja de Atlantida: unidade espacial e ritmo	90
Figura 4.18 - Dupla espiral do <i>Modulor</i> de Le Corbusier	90
Figura 4.19 - Vista lateral externa da Igreja de Atlantida: repetição rítmica das formas regradadas	91
Figura 4.20 - Altar de Nossa Senhora de Lourdes, em Atlantida: estudo e foto	91
Figura 4.21 - Vista externa do Altar de Nossa Senhora de Lourdes: cuidado na definição, no corte e na colocação das peças cerâmicas	92
Figura 4.22 - Fachada frontal da Igreja de Atlantida: elementos de composição	93
Figura 4.23 - Interior da torre do campanário: escada de acesso	93
Figura 4.24 - Vista frontal de Atlantida: detalhe da entrada do batistério	94
Figura 4.25 - Cortes e planta do batistério da Igreja de Atlantida	95
Figura 4.26 - Fachada posterior da Igreja de Atlantida	95
Figura 4.27 - Detalhe da janela horizontal de Atlantida: iluminação direcionada	96
Figura 4.28 - Igreja de Durazno: fachada original conservada e restaurada	98
Figura 4.29 - Planta da Igreja de Durazno	98
Figura 4.30 - Perspectiva esquemática da solução formal de Durazno: superfícies em planos	99
Figura 4.31 - Corte longitudinal da Igreja de Durazno	100

Lista de Figuras

Figura 4.32 - Corte transversal da Igreja de Durazno	100
Figura 4.33 - Vista interior geral de Durazno	101
Figura 4.34 - Vista interior da torre do presbitério de Durazno: planos angulares	102
Figura 4.35 - Fachada interna de Durazno: vista dos fiéis ao sair da Igreja	103
Figura 4.36 - Tijolo maciço de pequenas fábricas do Uruguai: irregularidade	104
Figura 4.37 - Detalhes de superfícies com acabamento em diferentes texturas: a estética na aplicação do material	104
Figura 4.38 - Soluções de iluminação pela cobertura: modificação da forma básica da abóbada de curvatura dupla	105
Figura 4.39 - Soluções de iluminação: desnivelamento das abóbadas autoportantes	106
Figura 4.40 - Soluções de iluminação: uso de pérgulas em abóbadas autoportantes	106
Figura 4.41 - Limpeza das peças cerâmicas: cuidados no acabamento interno	107
Figura 4.42 - Superfícies das paredes de Atlantida: textura rústica e plana	108
Figura 4.43 - Imagem de Cristo no altar de Atlantida: expressividade através de efeitos de iluminação e textura	109
Figura 4.44 - Paredes laterais da nave de Atlantida: efeitos de iluminação	110
Figura 4.45 - Iluminação do coro de Atlantida: detalhes interno e externo	110
Figura 4.46 - Faixa de luz em vistas interna e externa: expressão do comportamento estrutural	111
Figura 4.47 - Iluminação zenital da nave central de Atlantida: detalhe de execução e vista interna acabada	112
Figura 4.48 - Torre do presbitério da Igreja de Durazno: efeitos de iluminação	113
Figura 4.49 - Estudos realizados para a janela da torre do presbitério de Durazno: expressividade formal e efeitos de iluminação natural.	114
Figura 4.50 - Efeito de iluminação de Durazno: rasgos de luz na cobertura	114
Figura 4.51 - Rosácea da Igreja de Durazno: símbolo da obra de Dieste	115
Figura 4.52 - Silos executados por Dieste y Montañez, Uruguai	116
Figura 4.53 - Algumas obras em cerâmica armada por Ariel Valmaggia, no Brasil	117

Capítulo 5

Figura 5.1 - Detalhe de abóbada autoportante em cerâmica armada: utilização de tirante	122
Figura 5.2 - Casa Berlinghieri: corte transversal e detalhe em corte longitudinal da abóbada autoportante	123
Figura 5.3 - Casa Berlinghieri: soluções de apoio para abóbada autoportante	123
Figura 5.4 - Molde móvel: detalhe de fixação	126
Figura 5.5 - Tipologia básica da abóbada gaussiana ou de curvatura dupla	127
Figura 5.6 - Tipologia modificada da abóbada gaussiana ou de curvatura dupla	129
Figura 5.7 - Desenhos para a confecção do molde da abóbada de curvatura dupla: variações de flechas das catenárias	131
Figura 5.8 - Montagem do molde da abóbada de curvatura dupla: “sistema de costelas”	132
Figura 5.9 - Detalhe da disposição dos blocos sobre o molde	132
Figura 5.10 - Abóbada gaussiana ou de curvatura dupla: etapas de execução	133
Figura 5.11 - Prova de carga: o engenheiro Dieste e os operários da obra	133
Figura 5.12 - Tipologia básica da abóbada autoportante	135
Figura 5.13 - Abóbada autoportante: detalhe da colocação dos cabos no fundo da calha	137
Figura 5.14 - Abóbada autoportante: seções variadas para as lajes de borda	137
Figura 5.15 - Detalhes de apoios distintos das abóbadas autoportantes	138
Figura 5.16 - Macaco hidráulico adaptado por Dieste: execução de abóbadas pré-comprimidas	139
Figura 5.17 - Abóbadas autoportantes: montagem dos cabos de protensão na parte superior	140
Figura 5.18 - Abóbadas autoportantes: protensão dos cabos na parte superior e colocação de malha eletro-soldada	141
Figura 5.19 - Detalhe de estrutura de molde para abóbada autoportante	142
Figura 5.20 - Detalhe do molde quadriculado para execução de abóbada autoportante	143
Figura 5.21 - Croqui estrutural da Estação Rodoviária de Salto: planta, vista e cortes	143

Lista de Figuras

Figura 5.22 - Croqui estrutural da Agroindústria Massaro: planta, corte e vistas	144
Figura 5.23 - Posto de Gasolina Barbieri y Leggire: gaivota	145
Figura 5.24 - Transporte da gaivota	145
Figura 5.25 - Corte esquemático: colocação das armaduras longitudinal e transversal nas abóbadas	147
Figura 5.26 - Execução de abóbadas: etapas construtivas distintas	148
Figura 5.27 - Tanque de água: unidade e expressividade estrutural	150
Figura 5.28 - Torre de Malvin: construção inacabada	151
Figura 5.29 - Fachada frontal do <i>Montevideo Shopping</i> , no Uruguai	151
Figura 5.30 - Croqui das superfícies regradas do <i>Montevideo Shopping</i>	152
Figura 5.31 - <i>Montevideo Shopping</i> : esquema de modelo de comportamento estrutural	153
Figura 5.32 - Montagem de gabaritos e fios-guia para execução das paredes da Igreja de Atlantida	154
Figura 5.33 - Execução das paredes de Atlantida: retas geratrizes reproduzidas por fios-guia fixos em gabaritos	155
Figura 5.34 - Detalhe de execução da abóbada: viga de borda previamente construída	156
Figura 5.35 – Detalhes construtivos de Atlantida: armadura da viga de borda	157
Figura 5.36 - Detalhes construtivos de Atlantida: sistema de reforço da viga de borda	158
Figura 5.37 - Detalhes de execução de abóbada de curvatura dupla: colocação da armadura e das peças cerâmicas	159
Figura 5.38 - Detalhes do coro de Atlantida: guarda-corpo, pára-sóis e escada	160
Figura 5.39 - Execução de superfície vertical, no Brasil: emprego de régua e escantilhão	161
Figura 5.40 - Sequência de execução de torre de televisão, no Brasil: superfície regradada	162
Figura 5.41 - Execução da superfície regradada da Igreja de Atlantida: utilização de sistema de reprodução das diretrizes inferior e superior com gabarito e de fios-guia	164

Lista de Figuras

Figura 5.42 - Execução de um tanque de água, no Uruguai: utilização de sistema de reprodução da diretriz superior com gabarito e de fios-guia	165
Figura 5.43 - Interior da Igreja <i>Madre Del Rosário</i> : superfícies em planos	166
Figura 5.44 - Detalhe de projeto e de execução e vista do pórtico posterior acabado da Igreja de Durazno	168
Figura 5.45 - Detalhe das vigas das paredes principais da Igreja de Durazno	170
Figura 5.46 - Detalhe dos cabos de protensão da cobertura central de Durazno	171
Figura 5.47 - Detalhe do rasgo longitudinal: independência das superfícies em Durazno	172
Figura 5.48 - Vista externa da torre de Durazno	173
Figura 5.49 - Detalhe da rosácea da Igreja de Durazno	174
Figura 5.50 - Estudo das tensões na rosácea de Durazno: esboço de Dieste	175
Figura 5.51 - Blocos cerâmicos furados fabricados no Uruguai	176
Figura 5.52 - Definições dimensionais para blocos cerâmicos de acordo com a NBR 7171	177
Figura 5.53 - Blocos cerâmicos furados com abas: 25 x 25 x 15 cm	178
Figura 5.54 - Regularidade das juntas: implicações técnicas e estéticas	179
Figura 5.55 - Abóbadas autoportantes: sistema de protensão nas vigas dos vales	181
Figura 5.56 - Abóbadas autoportantes: sistema de protensão na parte superior das abóbadas	182
Figura 5.57 - Desenho esquemático de funcionamento do sistema para movimentação horizontal e vertical do molde modular	184
Figura 5.58 - Preparação das juntas: molde modular com espaçadores e emprego de gabaritos	185
Figura 5.59 - Execução de arco de abóbada de curvatura dupla: utilização de moldes modulares com infraestrutura dobrável	186

Lista de Tabelas

Capítulo 5

Tabela 5.1 - Dimensões nominais para blocos cerâmicos	177
Tabela 5.2 - Resistência à compressão para blocos cerâmicos	178

Lista de Abreviaturas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEASA – Centrais de Abastecimento S.A.

COHAB – Companhia de Habitação

ICC - Indústria da Construção Civil

IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica

NBR – Norma Brasileira

PBQP-H – Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat

Apesar da flexibilidade arquitetônica que o sistema construtivo em alvenaria estrutural possibilita, a maioria das construções apresenta tipologias padrões com pouca expressividade arquitetônica, se analisadas pelo ponto de vista formal. Neste sentido, é necessária uma melhor compreensão das interações entre os sistemas estruturais adotados, as propriedades dos materiais e o processo de produção empregado, passando pelos princípios de processo de projeto arquitetônico e incluindo o detalhamento dos vários elementos estruturais. Neste trabalho estuda-se a contribuição de Eladio Dieste para a inovação nos processos de projeto arquitetônico e de construção de obras em alvenaria estrutural onde ocorre uma forte interferência entre os aspectos arquitetônicos e estruturais na definição do sistema construtivo. Além disso, a obra de Eladio Dieste apresenta elevado grau de inovação na história da alvenaria estrutural por seus aspectos compositivo, estético, estrutural, construtivo e social, e ainda no que diz respeito ao custo e à mão de obra que incrementam a competitividade e a eficiência tecnológica deste sistema construtivo. É feita uma revisão dos métodos e processo de projeto de arquitetura, dos parâmetros para a geração da forma, da evolução dos processos construtivos considerando estrutura e forma arquitetônica, sistemas reticulados e laminares, características técnicas de material, de execução e de mão de obra. São enfocadas, particularmente, as interações entre a composição arquitetônica e a definição estrutural, enquanto fatores determinantes para o processo construtivo. Propõe-se uma caracterização da tecnologia construtiva desenvolvida por Eladio Dieste, de modo a possibilitar a aplicação de conhecimentos utilizados nas variadas tipologias.

Palavras-chave: alvenaria estrutural, Eladio Dieste, projeto arquitetônico, tecnologia construtiva.

Most building constructions presents pattern typologies that lacks architectural expressiveness under a formal point of view in spite of the architectural flexibility that the structural masonry system provide. For so, it is necessary a better understanding of the interaction between the structural systems adopted, the materials properties and the production process adopted. Architectural design principles including the several structural elements detailing are also important. This work discusses Eladio Dieste's contribution for the structural masonry construction, which have interference between the architectural and structural aspects in the construction system definition. Besides that, Dieste's constructions present a high innovative level in the history of structural masonry considering its aesthetic, construction and social aspects. It considers costs and workmanship, competitiveness and technological efficiency of the construction system. A review of design methods and process used to analyse the architectural formal aspects, the evolution of construction process taking into account the structure and the architectural shape, reticular and laminar systems, technical characteristics of the materials and workmanship aspects are presented. The architectural design is focused as the key point of the construction process definition. A methodology systematisation of the construction technology explored by Dieste is proposed, in order to allow its application in different typologies.

Key words: structural masonry, Eladio Dieste, architectural design, construction technology.

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
RESUMO	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xiv
 CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	
Considerações iniciais	1
1.1 Evolução do uso da alvenaria estrutural no Brasil	2
1.2 Justificativa e relevância do estudo	7
1.3 Objetivos	9
1.3.1 Objetivo geral	9
1.3.2 Objetivos específicos	9
1.4 Estrutura de apresentação do trabalho	10
 CAPÍTULO 2. PROCESSO DE PROJETO EM ARQUITETURA E PROCESSOS CONSTRUTIVOS	
Considerações iniciais	12
2.1 Processo de projeto em arquitetura	14
2.1.1 A contextualização da arquitetura	16
2.1.2 Composição arquitetônica	18
2.1.3 A geração da forma arquitetônica: métodos de composição	19
2.1.4 Idéias formativas	26
2.1.5 O caráter individual na geração da forma arquitetônica	27
2.1.6 A qualidade na atividade de projeto arquitetônico	40
2.2 Processos construtivos	42
2.2.1 O perfil da construção civil no Brasil	43

Sumário

2.2.2	Métodos construtivos: forma segue estrutura	46
2.3	O processo construtivo em alvenaria estrutural	51
2.3.1	Procedimentos e requerimentos do projeto arquitetônico	55
2.3.2	Arranjos estruturais	58
 CAPÍTULO 3. METODOLOGIA		
3.1	Metodologia empregada	62
3.2	Desenvolvimento do trabalho	63
3.2.1	Estudo da literatura	63
3.2.2	Pesquisa de campo e documentação das obras	64
3.2.3	Discussão e sistematização da obra de Eladio Dieste	66
 CAPÍTULO 4. A PROPOSTA ARQUITETÔNICA DE ELADIO DIESTE: IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS ASPECTOS RELEVANTES		
	Considerações iniciais	68
4.1	A formação de Eladio Dieste Saint Martin	70
4.2	A arquitetura nas obras de Eladio Dieste	74
4.3	A geração da forma nos projetos arquitetônicos de Dieste	77
4.4	O contexto arquitetônico nas relações funcionais e morfológicas	83
4.4.1	Igreja do <i>Cristo Obrero</i> em Atlantida	85
4.4.2	Igreja de <i>San Pedro</i> em Durazno	97
4.5	Material, textura e iluminação natural	103
4.5.1	Igreja do <i>Cristo Obrero</i> em Atlantida	107
4.5.2	Igreja de <i>San Pedro</i> em Durazno	112
4.6	Considerações finais	116
 CAPÍTULO 5. A TECNOLOGIA CONSTRUTIVA NAS OBRAS DE ELADIO DIESTE: TIPOLOGIAS, DETALHES CONSTRUTIVOS E PROCESSO DE PRODUÇÃO		
	Considerações iniciais	119
5.1	O material cerâmico	120

Sumário

5.2	Tipologias e tecnologia construtiva	121
5.2.1	Tipologias em abóbadas	122
5.2.1.1	Abóbadas gaussianas ou de curvatura dupla	127
5.2.1.2	Abóbadas autoportantes de diretriz catenária	134
5.2.1.3	Processo de execução de abóbadas	146
5.2.2	Superfícies regradas	149
5.2.2.1	Igreja de Atlantida: estrutura e técnicas construtivas	154
5.2.2.2	Processo de execução de superfícies regradas	161
5.2.3	Superfícies em planos	166
5.2.3.1	Igreja de Durazno: estrutura e técnicas construtivas	167
5.3	Processo de produção	175
5.3.1	Características geométricas e mecânicas do material cerâmico	176
5.3.2	Juntas, argamassas, armaduras e protensão	179
5.3.3	Moldes modulares, gabaritos e prazos de desforma	183
5.3.4	Mão de obra e equipes de trabalho	187
5.4	Considerações finais	188
 CAPÍTULO 6. SISTEMATIZAÇÃO DA TECNOLOGIA CONSTRUTIVA DESENVOLVIDA POR ELADIO DIESTE		
	Considerações iniciais	189
6.1	Parâmetros do processo de projeto arquitetônico	189
6.2	Parâmetros do processo de produção	191
6.3	Contribuições de Eladio Dieste	192
6.4	Discussão crítica da tecnologia de Eladio Dieste	195
 CAPÍTULO 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES		
7.1	Conclusões	198
7.2	Recomendações	199
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		200

Introdução

Considerações iniciais

A partir da década de 50, resultados de pesquisas desenvolvidas em diferentes países permitiram a evolução do conhecimento acerca da alvenaria estrutural e propiciaram a utilização deste processo construtivo de forma mais racional e competitiva (HENDRY, 1998).

A alvenaria estrutural apresenta uma série de vantagens amplamente discutida na literatura (ABRAMS; LOURENÇO, 1996; ADEL-ARGILÉS; ROMAN & SINHA, 1994; CARVALHO, 2000; CURTIN *et al.*, 1991; DRYSDALE; SANTOS, 2001; DRYSDALE *et al.*, 1993; FRANCO, 1992; HENDRY, 1998; HENDRY *et al.*, 1997; PEDRESCHI; RAMAN; SAMARASINGHE & SANKARAN, 2002). Entretanto, para o uso da alvenaria de forma eficiente, a compatibilidade entre a concepção arquitetônica e o projeto estrutural tem papel definitivo na melhoria da construtibilidade e para a desejada redução de custos de construção, proporcionando melhores soluções técnicas (CARVALHO *et al.*, 2001).

Formas arquitetônicas estruturais devem considerar aspectos técnicos, mas também aspectos compositivos, sociais, culturais e econômicos. Neste sentido, é necessária a compreensão das propriedades dos materiais utilizados e das características estruturais da alvenaria, passando pelos princípios de projeto e incluindo o detalhamento dos vários elementos estruturais.

Apesar da flexibilidade compositiva que o sistema construtivo possibilita devido às características físicas dos blocos, a maioria das construções encontradas em alvenaria estrutural apresenta tipologias planares e com pouca expressividade arquitetônica, podendo ser descritas como repetitivas, se analisadas pelo ponto de vista formal (PEDRESCHI, 2002).

Algumas obras, porém, destacam-se pela tipologia, pela beleza e, ainda, pela ousadia com que parecem desafiar as leis que regem a matéria em equilíbrio. Essas construções são o objeto de estudo deste trabalho, no que se refere principalmente ao processo de projeto de arquitetura enquanto fator determinante para o processo construtivo.

1.1 Evolução no uso da alvenaria estrutural no Brasil

No Brasil, particularmente, a partir da década de 70, a melhoria do processo construtivo e da qualidade de materiais contribuiu, consideravelmente, para o desenvolvimento e popularização da alvenaria estrutural. A disponibilidade de insumos em larga escala no mercado e o interesse pelo desenvolvimento tecnológico da alvenaria estrutural observado pelas publicações técnicas e científicas, seguidas de diversos eventos técnicos realizados periodicamente incrementou este desenvolvimento (ROMAN, 1997).

O sistema construtivo em alvenaria estrutural passou a ser adotado por diversas empresas devido, principalmente, à redução de custos possibilitada pela racionalização de projetos e pela utilização de paredes com varias funções simultâneas, fato que permite uma maior competitividade e qualidade se comparado aos sistemas construtivos convencionais.

A flexibilidade compositiva oferecida pelas unidades de tamanho reduzido, acrescida ao aspecto das superfícies de acabamento tornou-se outro atrativo para a utilização da alvenaria em larga escala. As vantagens ambientais proporcionadas pelo material, projeto e construção também devem ser consideradas (RILEM, 1996).

No Brasil, o incremento no número de construções em alvenaria estrutural, a partir do início da década de 90, deveu-se, em grande parte, à adoção e ao aperfeiçoamento do sistema pela Construtora Encol e, principalmente pelo desenvolvimento do sistema Poli-Encol (SANTOS, 2001).

Os estudos deste sistema foram baseados no desenvolvimento de projetos de prédios residenciais, inicialmente de quatro pavimentos construídos sobre pilotis em concreto armado, baseados em tipologia arquitetônica padronizada, em geral do tipo I ou H, para uma classe de renda mais baixa.

A utilização do sistema Poli-Encol pela Encol sofreu descontinuidade, a partir de 1993, em função da alta produtividade e flexibilidade oferecida pelo sistema racionalizado com base em pilar-laje, conhecido como Novatec. A alvenaria estrutural não possibilitava a sua utilização dentro dos requerimentos da empresa naquele momento.

Novos conceitos buscando racionalização e compatibilização de projetos foram desenvolvidos incluindo modulação de fiadas, paginação de paredes e a racionalização e a melhoria da produtividade para a execução. Dentre eles, incluem-se maior controle de prumo permitindo a utilização de rebocos com pequena espessura e utilização de elementos pré-fabricados no canteiro, além do uso de equipamentos e

1- Introdução

ferramentas adequadas ao processo construtivo. Várias dessas inovações tecnológicas passaram a ser utilizadas, desde então, por diversas empresas do setor da construção civil (FRANCO, 1992; MAMEDE *et al.*, 2002; SANTOS, 2001).

À medida que a alvenaria estrutural se desenvolveu, construções mais altas foram executadas, incluindo edifícios de seis, oito, dez, onze, doze, dezoito e até vinte e três pavimentos em algumas cidades do Brasil, principalmente nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Santa Catarina.

As Figuras 1.1, 1.2 e 1.3 mostram edifícios residenciais construídos em alvenaria estrutural em algumas destas regiões.



Figura 1.1 - Edifícios residenciais em alvenaria estrutural até o pavimento térreo, em Belo Horizonte.



Figura 1.2 - Edifícios residenciais em alvenaria estrutural com pilotis em estrutura convencional de concreto armado (ABCP, 2003).



(a) São Paulo



(b) Belo Horizonte

Figura 1.3 - Edifícios residenciais de doze e dezoito pavimentos construídos em alvenaria estrutural armada.

Embora construções de formas e alturas variadas venham sendo executadas, a alvenaria estrutural continua a ser empregada, principalmente, para edifícios residenciais de tipologias padrões, que não apresentam inovação no que diz respeito à forma arquitetônica. As potencialidades do bloco como elemento construtivo ainda são pouco exploradas no que se refere aos aspectos plástico e estético, bem como no que se refere à resistência e eficiência estruturais.

No conjunto das obras que apresentam elevado grau de inovação na história da alvenaria estrutural, destacam-se as do engenheiro uruguaio Eladio Dieste por seu aspecto estético, construtivo e social, e ainda pelos aspectos relativos ao custo e à mão de obra.

A partir do conhecimento do comportamento dos materiais tijolo, argamassa e aço trabalhando em conjunto como um material único, foram exploradas potencialidades técnicas, funcionais e estéticas da alvenaria armada. Analisando rigorosa e metodicamente estas potencialidades e explorando o comportamento dos materiais e a eficiência estrutural, problemas estruturais e construtivos foram solucionados, apresentando excelente resultado arquitetônico, técnico e econômico (SEVILLA, 1996).

1- Introdução

Em mais de um milhão de metros quadrados construídos no Uruguai, na Argentina, no Brasil e na Espanha, a técnica construtiva utilizada e desenvolvida por Dieste permitiu a produção de obras que diferem das demais e despertam as atenções de vários segmentos da sociedade, em geral, e passaram a despertar a do meio científico, em particular. Destacam-se, principalmente, as formas geométricas que desafiam os conceitos normalmente empregados para construções de grande porte e estruturas usualmente executadas em concreto armado e aço.

Nos anos 70, no Brasil, devido à iniciativa do Ministério da Agricultura, foram desenvolvidas e implementadas obras de Centrais de Abastecimento S. A., CEASA's, para distribuição de alimentos em algumas cidades do país. Os projetos foram desenvolvidos e construídos por grandes empresas, em sua maioria de São Paulo. As soluções estruturais utilizadas foram em alvenaria armada de blocos cerâmicos, podendo-se citar a solução da cobertura do Pavilhão dos produtores do CEASA de Porto Alegre de autoria de Eladio Dieste, mostrado na Figura 1.4.

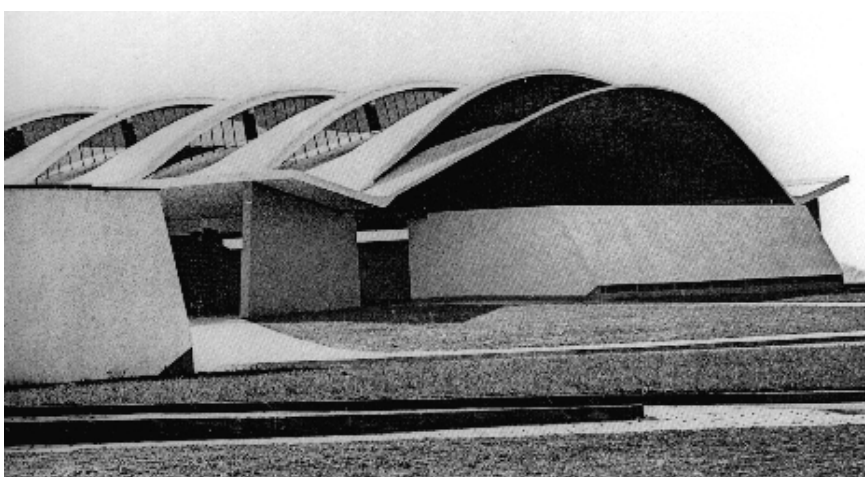


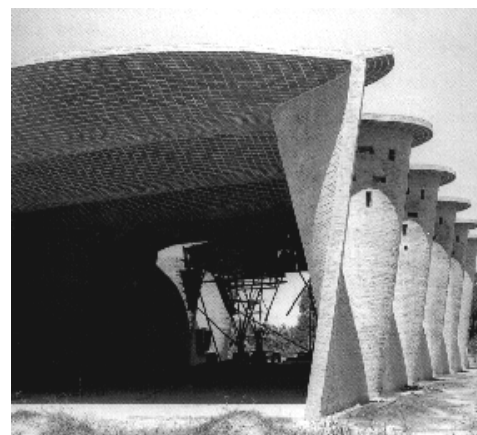
Figura 1.4 - Pavilhão dos Produtores do CEASA, em Porto Alegre.

Usando a cerâmica como material estrutural foram desenvolvidas técnicas construtivas que permitiram a construção de várias obras tais como igrejas, grandes espaços cobertos para fábricas, *shopping center*, ginásios e depósitos, tanques de água, torres, posto de gasolina, silos horizontais e verticais. Ao longo de quarenta anos, e através do trabalho conjunto com diversos profissionais, foram exploradas as possibilidades construtivas e estruturais desse material conceitualmente novo, originando construções em formas delgadas e ousadas. A Figura 1.5 mostra o uso inovador da alvenaria estrutural por Eladio Dieste em algumas destas obras.

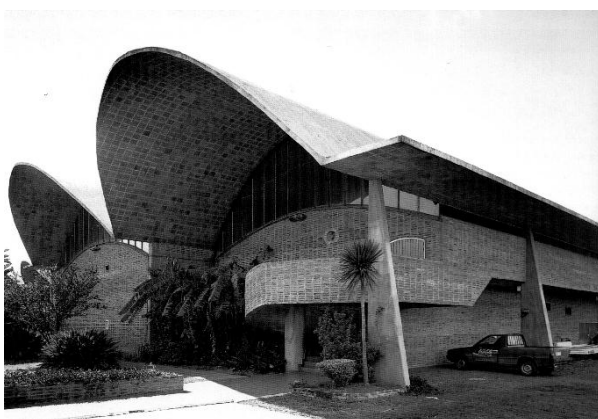
1- Introdução



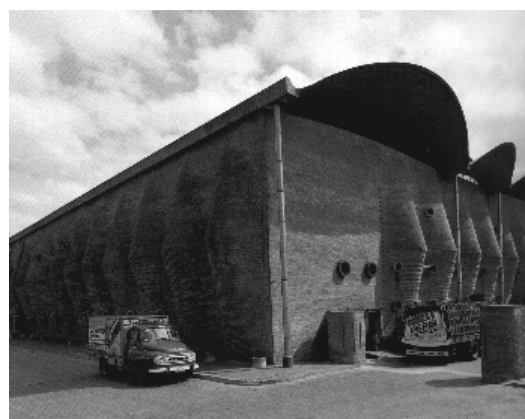
(a) Igreja na Espanha



(b) Igreja na Espanha



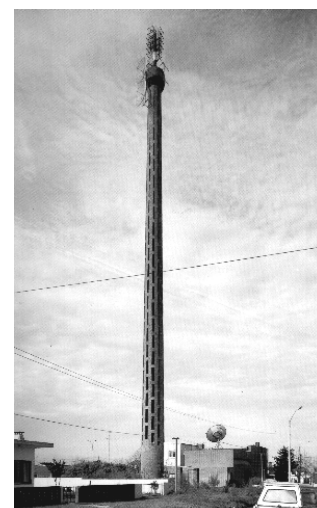
(c) Fábrica no Uruguai



(d) Shopping Center em Montevideu



(e) Depósito em Montevideu



(f) Torre de TV no Uruguai

Figura 1.5 - Exemplos de construções inovadoras em alvenaria estrutural por Eladio Dieste.

1- Introdução

As soluções encontradas estão embasadas sempre em um único princípio que se resume na solução de um problema prático aplicando os grandes fundamentos da ciência, o que exige um conhecimento profundo dos mesmos.

A grande questão levantada por Eladio Dieste é a criação de novas formas para a superfície das estruturas, sendo difícil falar em estruturas laminares sem cair na repetição das formas já conhecidas e estudadas. E a idealização de formas mais elaboradas que ofereçam soluções lógicas, econômicas e estáveis demanda uma análise profunda, muitas vezes desconhecida, antes de se chegar a uma solução que possa ser calculada através de recursos computacionais. Em geral, as grandes dificuldades encontradas estão no entendimento dos fundamentos da ciência e na aplicação destes e não no desenvolvimento dos projetos (SEVILLA, 1996).

A interação entre os conceitos arquitetônicos e os estruturais, bem como o conhecimento das características físicas e mecânicas dos materiais e do processo construtivo possibilita a melhoria da eficiência das obras construídas no sistema construtivo em alvenaria estrutural. No entanto, essa eficiência relativa aos aspectos técnicos, sociais, econômicos e culturais não assegura eficiência estética (PEDRESCHI; SAMARASINGHE & SANKARAN, 2002).

1.2 Justificativa e relevância do estudo

As opções arquitetônicas adotadas durante o processo de projeto são determinantes para que seja explorado o potencial máximo das construções em alvenaria estrutural. São várias as variáveis a serem consideradas durante este processo, dificultando a estruturação de uma metodologia.

Particularmente, nos processos construtivos em alvenaria estrutural, é necessária a compreensão do processo de projeto arquitetônico, dos métodos e das técnicas construtivas, das propriedades dos materiais, das características específicas da alvenaria e dos métodos de análise e de cálculo estrutural.

No caso de construções de caráter inovador, as interações entre o processo de projeto arquitetônico e seus condicionantes apresentam características especiais que nem sempre podem ser enquadradas em uma mesma sistemática de projeto.

No entanto, as obras de Eladio Dieste, independentemente de uma análise individual, apresentam uma linguagem comum, uma tipologia contemporânea com características similares. Elas representam a expressão de uma filosofia que se baseia na

1- Introdução

potencialidade da forma e dos materiais, através do uso criativo e inovador da alvenaria, direcionando a tecnologia e a inovação para o atendimento das demandas da sociedade (PEDRESCHI, 2000).

Desta forma, o entendimento e a sistematização destas características têm uma relevância e importância para a Arquitetura e a Engenharia, principalmente para os sistemas em alvenaria estrutural.

A arquitetura adquire expressão através da forma, e atualmente, um grande desafio da Engenharia Civil e da Arquitetura é o de conciliar custo com a simplificação construtiva, alcançando eficiência técnica e atendendo aos requisitos plásticos, compositivos e estéticos.

O fato de um trabalho tão diferenciado e criativo não ser mais amplamente pesquisado e divulgado tem despertado a atenção dos meios acadêmicos. Porque o trabalho de Dieste não é mais difundido? Porque a metodologia construtiva desenvolvida por Dieste não é mais amplamente empregada, uma vez que proporciona resultados mais que desejáveis, explorando a potencialidade não só construtiva, mas também compositiva da alvenaria armada?

Essas considerações descritas justificam uma análise detalhada do processo de projeto arquitetônico e das técnicas construtivas desenvolvidas e utilizadas pelo engenheiro Eladio Dieste.

O trabalho deste engenheiro uruguaio foi escolhido devido às suas propostas compositivas, técnicas e plásticas, além de ter produzido construções que se diferem, em todos esses aspectos, das propostas normalmente adotadas para soluções em alvenaria estrutural. Além das vantagens compositivas e estéticas alcançadas através da exploração da potencialidade do material, apresenta vantagens construtivas e econômicas que incrementam a competitividade e a eficiência tecnológica deste sistema construtivo.

O trabalho de Eladio Dieste tem sido estudado, analisado e citado por alguns pesquisadores em diferentes países (PEDRESCHI, 2000, 2002; SARRABLO *et al.*, 2002; SEVILLA, 1996; THEODOSSOPOULOS & SINHA, 2002). Apesar disso, não se encontra na literatura nacional ou internacional uma estruturação metodológica do processo construtivo desenvolvido por ele, que aprofunde no entendimento da interação entre a forma arquitetônica, os processos de projeto arquitetônico e estrutural e a metodologia construtiva empregada.

1- Introdução

Parte-se da premissa que, para um sistema construtivo, no caso deste estudo a alvenaria estrutural, desenvolver-se e alcançar maiores índices de competitividade e eficiência tecnológica, deve-se conhecer e analisar detalhadamente os aspectos relativos às características e comportamento do material, às soluções e às técnicas construtivas utilizadas, considerando as decisões arquitetônicas adotadas durante o processo de projeto. Procedimentos comuns na construção tradicional, principalmente a desvinculação dos projetos complementares, devem ser evitados. O processo de projeto arquitetônico deve ser considerado como fator determinante na adoção de um sistema construtivo com resultados técnicos e arquitetônicos satisfatórios.

Considerando que a alvenaria estrutural desperta, cada vez mais, o interesse da Indústria da Construção Civil (ICC) e que sua utilização para a construção de vários tipos de edifícios é crescente, propõe-se a análise e a avaliação do método construtivo desenvolvido e empregado por Eladio Dieste, visando uma adaptação do mesmo para incrementar seu uso em países em desenvolvimento e, particularmente, no Brasil.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é identificar e analisar a contribuição de Eladio Dieste para a inovação nos processos de projeto arquitetônico e de construção de obras em alvenaria estrutural.

A partir deste estudo, propõe-se uma metodologia para a aplicação de métodos construtivos explorados por Dieste, de modo a permitir uma sistematização de conhecimentos utilizados nas variadas possibilidades construtivas e estruturais, com enfoque nas características arquitetônicas desenvolvidas durante o processo de projeto.

1.3.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral proposto, enumera-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar os antecedentes arquitetônicos e construtivos buscando o entendimento da influência dos aspectos técnicos, econômicos, compositivos,

1- Introdução

sociais e culturais na concepção de uma obra e de como esses influenciam a história da arquitetura;

- b) Identificar os métodos de composição arquitetônica adotados no desenvolvimento de projetos por Eladio Dieste, resgatando a aplicação prática dos antecedentes descritos;
- c) Identificar os princípios e os métodos construtivos utilizados nas obras de Eladio Dieste;
- d) Identificar as tipologias das construções onde esses métodos foram aplicados;
- e) Analisar a potencialidade desses métodos construtivos sobre o enfoque arquitetônico do processo de projeto;
- f) Identificar os métodos construtivos análogos utilizados no Brasil;
- g) Avaliar a aplicabilidade dos métodos construtivos de Dieste considerando as técnicas de desenvolvimento de projetos arquitetônicos e a técnica construtiva local;
- h) Propor a sistematização de uma metodologia para adaptação e incremento do uso desses métodos construtivos para obras em alvenaria estrutural, visando contribuir para o avanço deste processo construtivo, no sentido de possibilitar construções mais racionais e competitivas, com soluções inovadoras e estéticas.

1.4 Estrutura de apresentação do trabalho

O trabalho é estruturado em 7 capítulos. Neste Capítulo, as considerações iniciais que contextualizam o tema da pesquisa são discutidas. Os objetivos e o escopo geral que norteiam este trabalho são apresentados.

No Capítulo 2, é feita uma revisão dos métodos e processos de projeto que levam à geração da forma arquitetônica, considerando uma classificação para o processo de composição. Faz-se também uma análise crítica dos métodos empregados para a análise da forma arquitetônica, utilizando exemplos dos trabalhos de alguns renomados arquitetos, a fim de mostrar como os vários elementos se relacionam uns com os outros e com as particularidades dos condicionantes das construções. A evolução dos processos construtivos considerando estrutura e forma arquitetônica,

1- Introdução

sistemas reticulados e laminares, características técnicas de material e de mão de obra são apresentadas. O Capítulo apresenta um breve histórico da construção civil no Brasil e discute as interferências entre os aspectos arquitetônicos e estruturais na definição de um sistema construtivo. São apresentadas e discutidas as características do sistema construtivo em alvenaria estrutural, considerando o envolvimento dos processos de projeto e construtivo na produção de um empreendimento.

O Capítulo 3 descreve a metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho. Após pesquisa local e discussão com os profissionais que trabalharam na empresa Dieste y Montañez, foram escolhidas algumas obras para análise detalhada, com o objetivo de representar aquelas mais significativas sob o enfoque da arquitetura e da estrutura no sistema construtivo em alvenaria estrutural com tijolos e/ou blocos cerâmicos. Destacam-se a concepção e a solução para o projeto arquitetônico, a tipologia, o sistema estrutural adotado e o processo de produção na sistematização da tecnologia desenvolvida por Eladio Dieste.

No Capítulo 4 os aspectos relevantes da proposta arquitetônica de Eladio Dieste são apresentados e discutidos de uma maneira global, enfocando a geração da forma e o contexto arquitetônico nas relações funcionais e morfológicas. Os aspectos culturais e sociais de sua formação profissional são elucidados. Particularmente, as Igrejas de Atlantida e de Durazno são analisadas em detalhes por serem obras significativas do ponto de vista da inovação no processo de projeto arquitetônico dentre as tipologias por ele desenvolvidas.

O Capítulo 5 discute sobre os aspectos da tecnologia construtiva desenvolvida por Eladio Dieste. Os princípios básicos são elucidados a partir da pesquisa detalhada das tipologias construtivas e da tecnologia desenvolvida e empregada. São abordadas as obras de uma maneira geral e, particularmente, as Igrejas de Atlantida e de Durazno, pela riqueza de detalhes construtivos e inovação da técnica construtiva. Faz-se uma análise crítica e comparativa entre a tecnologia das obras de Dieste e a realidade da tecnologia atualmente empregada no Brasil, considerando projeto arquitetônico, técnicas construtivas, materiais, equipamentos e mão de obra disponíveis.

Uma sistematização da tecnologia construtiva em alvenaria estrutural desenvolvida por Dieste é apresentada no Capítulo 6, através de parâmetros de projeto arquitetônico e de produção com discussão crítica sobre as facilidades e dificuldades para a apropriação desta tecnologia no Brasil.

Conclusões e recomendações são apresentadas no Capítulo 7.

Processo de Projeto em Arquitetura e Processos Construtivos

Considerações iniciais

A interação entre a concepção arquitetônica e o sistema estrutural é essencial para alcançar uma melhor eficiência construtiva. As soluções arquitetônicas para edificações devem sempre considerar aspectos técnicos e econômicos, mas aspectos sociais, culturais e espaciais não são menos importantes. As propriedades e características dos materiais a serem empregadas, bem como as peculiaridades do sistema e do processo construtivo, são determinantes na solução final do projeto arquitetônico e devem ser bem conhecidas e entendidas para uma melhor racionalidade do processo construtivo.

O desenvolvimento tecnológico, na busca de maior eficiência de produção faz parte das estratégias utilizadas para melhorar a competitividade das empresas que atuam no setor da construção civil. Modificações e evoluções dos processos construtivos tradicionais através da aplicação de princípios de racionalidade construtiva representam importantes alternativas para implementar gradativamente melhorias no processo produtivo (FRANCO, 1996).

A racionalização construtiva implica na introdução dos princípios de racionalização de uma forma ampla, em todas as fases do processo de produção de uma edificação. Abrange todos os recursos envolvidos, sejam eles materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, financeiros e temporais, aplicados desde o planejamento e projeto à execução e utilização da obra (SABBATINI, 1989).

A alvenaria estrutural apresenta-se como um sistema construtivo que incorpora princípios de racionalização construtiva em todas as etapas do empreendimento. Possibilita a produção de construções de bom desempenho tecnológico aliado a baixos custos quando são aplicados esses mesmos princípios nas fases de projetos e de execução, visando à diminuição de interferências de subsistemas com prejuízo para o produto final. Por oferecer vantagens como flexibilidade, economia, durabilidade, valor estético e velocidade na construção, trata-se de uma opção que vem sendo largamente empregada em diversos países como Inglaterra, Austrália,

Alemanha, Estados Unidos, onde este método construtivo é bastante utilizado e bem aceito pelo usuário (ROMAN *et al.*, 1999).

A opção pela alvenaria estrutural deve ser acompanhada pela adoção de medidas que efetivamente otimizem as vantagens do sistema. A atuação conjunta de todos os profissionais envolvidos no processo de produção da edificação torna-se essencial para o planejamento cuidadoso das etapas de construção.

Este capítulo apresenta uma análise da evolução da atividade de construção e das conseqüências e imbricações junto ao processo de projeto arquitetônico no contexto da produção de uma edificação. O objetivo é analisar os antecedentes arquitetônicos e construtivos buscando o entendimento da influência dos aspectos técnicos, econômicos, compositivos, estéticos, sociais e culturais na concepção de uma obra e de como esses influenciam a história da arquitetura. São enfocadas as obras arquitetônicas em alvenaria que apresentam um elevado grau de inovação.

O trabalho de Eladio Dieste enquadra-se nesta categoria por ser uma proposta inovadora no que diz respeito tanto aos aspectos compositivo, formal, espacial e ambiental quanto aos aspectos tecnológicos da alvenaria estrutural. A estruturação da metodologia construtiva desenvolvida por ele para a concepção e execução de suas obras prescinde de uma análise da interação dessas questões.

Este capítulo apresenta três etapas distintas de revisão a serem consideradas:

- a) Processo de projeto em arquitetura;
- b) Processos construtivos;
- c) O processo construtivo em alvenaria estrutural.

Na primeira parte deste capítulo, apresenta-se a revisão das visões para o processo de projeto em arquitetura e as etapas de concepção arquitetônica enfatizando a composição e a forma. São apresentadas as relações das partes com o todo e como estas interagem para a geração da idéia arquitetônica, na busca de uma maior compreensão dos mecanismos de processos de projeto arquitetônico. São expostas as idéias formativas que influenciam a organização das informações para a transformação da idéia conceitual em formal e os métodos de composição. Ao longo do texto também são apresentados alguns valores utilizados para a definição da forma arquitetônica encontrados por profissionais autores de trabalhos significativos para a história da arquitetura.

Na segunda parte é apresentada a revisão da literatura dos aspectos relativos à evolução dos processos construtivos, considerando estrutura e forma arquitetônica,

sistemas reticulados e laminares, características técnicas dos materiais e da mão de obra. Um breve resumo do perfil da construção civil no Brasil, considerando aspectos sociais, políticos e econômicos é apresentado. O objetivo é analisar os métodos construtivos em função dos aspectos relacionados ao projeto arquitetônico, ou ainda a interferência do processo de projeto arquitetônico na escolha da tecnologia construtiva.

Na terceira e última parte deste capítulo são analisadas as características do sistema construtivo em alvenaria estrutural e um breve histórico de sua evolução é apresentado. Procedimentos e requerimentos de projeto visando a efetiva implantação do processo construtivo, considerando todas as etapas do processo de produção de empreendimentos em alvenaria estrutural são especificados. Arranjos estruturais mais utilizados são discutidos, bem como os procedimentos recomendados para execução.

2.1 Processo de projeto em arquitetura

Desde os tempos antigos, obras na Pérsia, Egito, Grécia e Roma foram planejadas e executadas a partir de métodos de representação que podem ser entendidos como projetos. Estes métodos eram mais tridimensionais do que planos e permitiam uma realização virtual prévia à execução, principalmente pela necessidade de fabricação de pedras em canteiro e posterior posicionamento nas obras.

No renascimento, reforçou-se o uso sistemático do desenho como principal ferramenta de pensar e representar o projeto. Os desenhos de Brunelleschi para o projeto da cúpula da catedral de *Santa Maria Del Fiore* em Florença representam esta forma de composição de espaços. Significam, para as metodologias de projeto, uma forma de pensar a obra que associa arte e técnica, alicerçada no conhecimento e no planejamento (FABRÍCIO & MELHADO, 2002).

A Figura 2.1 mostra uma vista da cúpula de *Santa Maria Del Fiore* ou Duomo de Florença, que se tornou o símbolo da cidade e da arquitetura revolucionária da Renascença.



Figura 2.1 - Vista geral da cúpula de *Santa Maria Del Fiore* (FIRENZE, 2001).

O processo de projeto arquitetônico é a fase do empreendimento de uma edificação na qual são tomadas as primeiras decisões relativas à forma arquitetônica, ao sistema e ao processo construtivos e aos materiais empregados, que definirão e formarão o projeto completo a ser utilizado para a execução da obra. Para uma contextualização deste processo são definidas as três fases que compõem o empreendimento de uma edificação: decisão, projeto e execução.

A fase de decisão consiste na obtenção das informações do cliente, das necessidades, dos aspectos culturais, climáticos, de legislação, dos recursos materiais e tecnologias disponíveis.

Na fase de projetos são analisados todos os condicionantes e busca-se a solução do problema a partir de prioridades estabelecidas. Como resultado, apresenta-se a solução formal, detalhada e materializada através de desenhos. Trata-se de uma fase de tomada de decisões de conceitos de projetos baseada na interpretação e organização dos dados obtidos na fase de decisão do empreendimento (RIVARD & FENVES, 2000).

A fase construtiva ou de execução define a qualidade final da edificação e envolve a qualidade dos materiais empregados, a qualidade da mão de obra e o controle na execução dos projetos e de suas especificações.

O desenvolvimento de projetos arquitetônicos é a fase discutida nesta primeira parte do capítulo. Ele foca a racionalização de procedimentos, a coordenação de projetos das áreas específicas afins e a padronização de linguagem.

Os atuais sistemas de produção e construção do espaço tornam quase indispensável a objetificação racional do projeto arquitetônico, através de representações, desenhos técnicos, simulações e cálculos diversos que permitem o planejamento de custos, de pessoal e de material no processo construtivo (MACEDO, 2002).

As soluções arquitetônicas adotadas para um determinado sistema construtivo devem ser específicas e adequadas para aquele processo, materiais e características específicas do sistema escolhido. Quando se pretende adequar este mesmo projeto para qualquer outro sistema construtivo, os benefícios obtidos em função das características do sistema, previamente escolhido, são prejudicados em detrimento das adaptações que se fazem necessárias.

O projeto arquitetônico deve ser encarado como um meio para se atingir um bom resultado na execução de uma edificação e não um fim em si mesmo, concebendo além do produto, os processos de produção (FRANCO, 1996).

No entanto, a habilidade de planejar o produto e sua execução processa-se de maneira diferenciada ao longo da história e nas diferentes sociedades. O ato de projetar é influenciado pela cultura e pelas disponibilidades materiais, técnicas e econômicas, refletindo impactos nas práticas e formas organizacionais do processo de projeto de arquitetura (FABRÍCIO & MELHADO, 2002).

O objetivo desta parte do trabalho é a compreensão do ato de projetar e as maneiras como esse acontece. Procura-se, ainda, enfocar o processo de criação e de interpretação e organização de dados físicos, técnicos, sociais, econômicos, culturais e compositivos na transformação da idéia abstrata em materialização da obra através de representações e desenhos, entendido aqui como processo de projeto arquitetônico.

2.1.1. A contextualização da arquitetura

“A origem etimológica da palavra arquitetura, entre os gregos, decorre da necessidade de distinguir algumas obras providas de significado existencial maior do que outras, que apresentavam soluções meramente técnicas ou pragmáticas” (BRANDÃO, 1999).

Para Macedo (2002) o tecnicismo enfatiza “o discurso da técnica construtiva pela eficiência, durabilidade e novidade técnica sobre a necessidade de se construir espaços demandados por um indivíduo ou grupo de indivíduos. Neste caso, os meios se sobrepõem à finalidade, o que construir torna-se secundário em relação a como construir, distanciando a construção da realidade”. Entretanto, o pragmatismo

construtivo evidencia-se pela produção de um objeto, uma obra, considerada não apenas como materialização de uma idéia, mas também como um mundo em si. Considerando o discutido por este autor, não se deve confundir pragmatismo construtivo com tecnicismo.

Mário Botta (*apud* NOBRE, 1994), afirma que para Louis Kahn a arquitetura não existe e sim a obra arquitetônica. Esta idéia é justificada pelo fato de que a arquitetura só se torna real quando se transforma em obra, quando a idéia, a imagem e o pensamento do arquiteto se encontram com a realidade física, geográfica e cultural evidenciada. Mário Botta defende que a atividade arquitetônica é transformadora e requer um compromisso direto e político com os elementos de transformação da realidade, priorizando um comprometimento ético com o estético. Trata-se de atividade que dá forma à história, expressando uma vontade permanente de pesquisar soluções anteriores para melhorar a qualidade de vida através do espaço. E somente através desse encontro entre os mundos teórico e real é possível realizar ou falar em arquitetura.

Pode-se afirmar que a representação arquitetônica torna-se um instrumento da obra que exprime o seu significado e que a aproxima de seus criadores e de seus usuários. Desta forma, a arquitetura expressa mais do que a obra em si, do que a solução espacial materializada para um problema ou uma demanda, mas a significação da construção num contexto mais amplo de uma época, de uma cultura, da expressão social e de sentido da existência humana.

O Movimento Moderno da arquitetura é caracterizado pela adoção de formas simples, substituindo a abstração pela decoração aplicada. Esta tendência busca a eliminação da decoração considerada supérflua e a purificação e a racionalização da arquitetura, em nome de uma nova tecnologia e do espírito do século XX (BAKER, 1998).

Uma arquitetura de qualidade expressa a relação direta entre forma e construção, embasada na adequada escolha de materiais, de soluções compositivas e estruturais, e de técnicas construtivas, além da opção econômica dos meios pela utilização de um pequeno número de elementos para obtenção de um efeito maior. Estas são características comuns nas obras que alcançam uma valorização superior, sendo consideradas, quase universalmente, exemplos de arquitetura da melhor qualidade.

As obras arquitetônicas se destacam por uma relação apropriada com o contexto em que se inserem, além da qualidade como conjunto espacial e construção formal. Na composição arquitetônica, apresentam o conceito central que organiza o todo e sua relação com o entorno, conceito este que extrapola uma resposta direta aos aspectos técnicos e funcionais do problema.

2.1.2. Composição arquitetônica

O termo composição arquitetônica se baseia no entendimento de que qualquer objeto arquitetônico é formado por um todo constituído por suas partes no sentido genérico de arranjo, seja esse arranjo livre ou baseado em certas regras predefinidas de combinação (MAHFUZ, 1995).

O método mais difundido e utilizado atualmente, herança da *École des Beaux-Arts*, constitui-se no processo de composição no qual o todo evolui para as partes. Esse define a idéia do todo sendo gerado inicialmente e, depois, as partes sendo projetadas de acordo com aquele esquema diagramático da forma da edificação, mantendo-se essas partes subordinadas à idéia central, ou seja, controladas pelo todo.

Uma visão contemporânea do processo de projeto em arquitetura apresenta-se mais voltada para o homem e suas relações com o ambiente. Como citado anteriormente, a concepção arquitetônica, ao ser definida a partir de condicionantes, atende a várias funções, determinando espaços e as relações entre os indivíduos enquanto ocupantes destes espaços.

Macedo (2002) discute a crise da arquitetura contemporânea tendo como uma das causas a crise de caráter da própria profissão. Enquanto nas escolas de arquitetura o ensino é focado na criação de obras de arte representadas por espaços que se diferenciam, o meio urbano apresenta-se amorfo e repleto de construções que inicialmente se diferenciam das demais, mas, pela repetição de princípios e padrões construtivos, tornam-se esgotadas como espaço significativo.

O processo de projeto de arquitetura parte da interpretação e da organização da relação entre as informações em busca da solução do problema e é um processo seletivo que implica numa passagem do plano analítico e objetivo para um plano subjetivo. O desenvolvimento do projeto inicia-se, geralmente, pelo partido, a idéia do todo global, a partir do qual são definidas as características da edificação expressa através de desenhos, maquetes, detalhes e especificações. O partido expressa esta idéia conceitual do edifício através de um esquema ou diagrama que reúne simultaneamente as noções de reunião e de divisão.

Segundo Brandão (1993), a indução e a dedução são formas de pensar a composição arquitetônica. Na composição indutiva, a forma da construção emerge a partir da configuração das partes, extremamente elaboradas e enfatizando os detalhes. Na forma dedutiva, o pensamento se orienta em sentido inverso, define inicialmente uma idéia global da edificação e explicita claramente seus princípios compositivos. Desses

são deduzidas as formas de todas as partes, desde a disposição das plantas e as formas dos ambientes até os detalhes e as cores.

De acordo com Mahfuz (1995), a composição arquitetônica pode acontecer a partir de relações funcionais e de relações morfológicas. As relações funcionais pertencem ao lado conceitual e subjetivo da composição arquitetônica. O processo de determinação formal e organização de um edifício pode ser determinado por quatro aspectos funcionais. O primeiro de propósitos imediatos, onde as considerações práticas determinam o uso no contexto imediato; o segundo de propósitos históricos, onde as normas que regem a concepção são importantes para determinação da funcionalidade; o terceiro de propósitos sociais, que consideram as possibilidades econômicas e materiais além da função simbólica; e o último de propósitos individuais, quando as normas preestabelecidas são desconsideradas permitindo-se a criação de novas relações funcionais.

As relações morfológicas pertencem ao aspecto formal da composição, sendo livres de qualquer juízo de valor, pois se referem somente às propriedades físicas dos artefatos arquitetônicos, de ordem topológica e geométrica. No entanto, as relações funcionais podem ser reduzidas a relações morfológicas, pois a descrição de um edifício vai além da descrição de suas relações funcionais, passando sempre pela sua morfologia (MAHFUZ, 1995).

2.1.3. A geração da forma arquitetônica: métodos de composição

A atividade de projetar é definida a partir da premissa de que todo espaço deve ser criado para possibilitar, organizar ou promover o desenvolvimento de uma ou mais atividades humanas. Mesmo considerando que a solução arquitetônica deve atender a uma função predefinida, a opção pela definição de uma forma arquitetônica específica, dentre tantas possibilidades, deve ser pautada em outras dimensões como a cultural, a social, a econômica, a local e a individual.

A forma arquitetônica resulta em parte da resolução de um problema particular, mas também de forças características do contexto em que está situada. Edifícios se relacionam com o entorno levando em consideração fatores como vista, insolação ou acessos, fatores estes que podem ser considerados como forças e que atuam diretamente sobre a forma (BAKER, 1998).

Segundo Brandão (1993), o procedimento dedutivo de geração da forma arquitetônica exige, como premissa, o domínio da capacidade da forma de atender aos

condicionantes do sítio, da paisagem, da função e da técnica, requerendo, sobretudo, um grande domínio da estética da forma e sua adequação ao terreno.

Discutindo o processo de criação da forma, Mahfuz (1995) afirma que a premissa básica é que a atividade de criação baseia-se, em grande parte, na interpretação e na adaptação de precedentes. De acordo com o autor, são quatro os métodos mais aceitos pela academia e que, em comum, empregam analogias como instrumento principal de criação: inovativo, tipológico, mimético e normativo.

No método inovativo, o procedimento para a solução de um problema conhecido realiza-se através da utilização de uma nova forma, empregando-se novos materiais, sugerindo novas utilizações para o espaço. São soluções inovadoras que utilizam analogias para a geração de formas arquitetônicas.

Um exemplo do método inovativo abrigando atividades inteiramente novas é o Edifício Larkin, construído em alvenaria estrutural em Nova York, 1904 e demolido em 1950, mostrado na Figura 2.2. Nele, Frank Lloyd Wright criou torres de serviço estabelecendo uma nova forma de solução para a integração de dutos para serviços mecânicos com a estrutura do edifício.

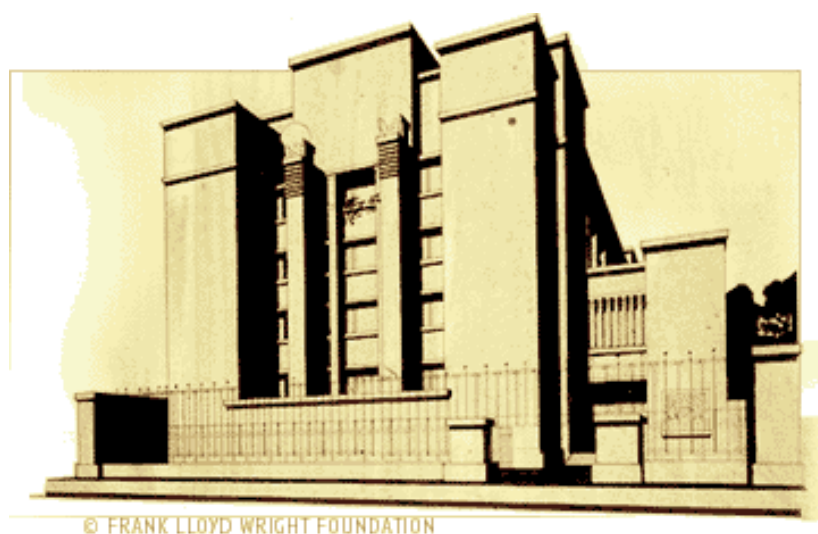


Figura 2.2 - Edifício Larkin: Frank Lloyd Wright (TGBC, 1997 a).

O método tipológico pode ser definido pela aplicação do conceito de tipo (MAHFUZ, 1995). A definição de tipo está ligada à idéia de que um elemento deve servir como regra para um modelo e de que um princípio pode reger a criação de vários elementos diferentes. O desenvolvimento pelo método tipológico permite a utilização de vários tipos diferentes para um mesmo projeto, cada um gerando um número ilimitado de partes envolvendo uma relação das partes existentes para as partes novas.

O método tipológico, muito freqüentemente, tende a ser usado de maneira regressiva, no sentido da tipificação do tipo, que é uma tendência a desencorajar o surgimento de novas estruturas formais. Esse método considera que todos os tipos já foram criados e que esses tipos podem fornecer as soluções para as novas situações. Enquadra-se nesta classificação o Estilo Internacional, característico do Movimento Moderno. A arquitetura de Aldo Rossi e Mies van der Rohe expressam o modelo tipológico, pois se baseia no princípio de que a forma é independente da função.

Quando se confunde o tipo ao modelo, a tipologia torna-se de uso limitado, pois deixa de ser o ponto de partida para a composição, impedindo a arquitetura de exercer seu papel cultural que contribui a dar significação à existência humana. Tende à repetição, ao embotamento da criatividade sem agregar nenhum valor cultural novo.

Mahfuz (1995) afirma que o método mimético pode ser entendido por aquele no qual a arquitetura é gerada pela imitação de modelos existentes, numa visão de releitura da arquitetura, onde cada artista pode representar a realidade à sua maneira. Enquanto no método tipológico o tipo é um princípio que pode reger a criação de vários objetos diferentes, no método mimético o modelo é um objeto que deve ser repetido como ele se apresenta. A escolha do modelo implica no reconhecimento de uma melhor solução para determinado problema que deve ser seguida, interpretada e adaptada. Desta forma o mimetismo também envolve um grau de invenção para adaptação à nova realidade.

No método normativo as formas arquitetônicas são criadas a partir de princípios reguladores, com o auxílio de normas estéticas. São princípios reguladores as formas geométricas elementares e os sistemas geométricos ou proporcionais, sendo, dentre estes últimos, a proporção áurea o mais difundido.

A segmentação ou proporção áurea é um dos recursos existentes mais eficientes de proporcionalidade estética. Esta relação foi empregada desde a antiguidade nas pirâmides do Egito e no Parthenon, e vem sendo utilizada através de toda a História da Arte e da Arquitetura.

Geometricamente, a proporção áurea é encontrada a partir de um segmento de reta dividido em duas partes de diferentes tamanhos, sendo que a medida do segmento de reta completo (AC) está para a medida da parte maior (AB) na mesma proporção em que a medida da parte maior (AB) está para a medida da parte menor (BC). A Figura 2.3 mostra esta a representação do segmento áureo.

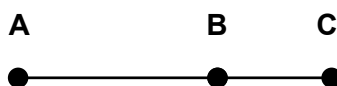


Figura 2.3 – Segmento áureo.

Sendo o segmento AB maior do que o segmento BC, pode-se escrever esta relação da seguinte maneira: $AC/AB = AB/BC$. Considerando o segmento $AC = 1$ e o $AB = x$, para determinar o ponto B no segmento de reta AC, obtendo-se assim um segmento áureo, divide-se em média e extrema razão os segmentos:

$$AC/AB = AB/BC = \Phi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$$

O objetivo é encontrar um ponto B entre A e C tal que a razão entre o segmento AC e o segmento AB seja a mesma que a razão entre o segmento AB e o segmento BC que é o número $\Phi = 1,61803....$ Isto significa que o segmento AB é 1,61803... vezes a medida do menor segmento BC (SEGMENTO ÁUREO, 19xx).

O retângulo áureo é obtido anexando-se dois quadrados com o lado 1, sendo o maior lado igual a soma dos lados dos quadrados anteriores. Anexando-se outro quadrado com o lado igual ao maior lado do retângulo anterior sucessivamente encontra-se a sequência de Fibonacci 3,5,8,13,..., conforme mostra a Figura 2.4.

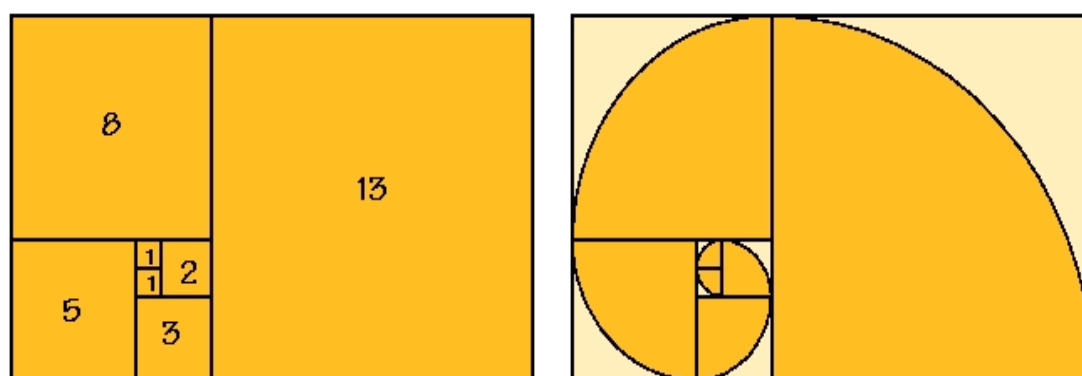


Figura 2.4 - Retângulo áureo.

Outro sistema de proporções bastante utilizado para a geração da forma arquitetônica é o *Modulor*, derivado da interpretação do Classicismo e desenvolvido por Le Corbusier no princípio da década de 50, considerando proporção, harmonia e equilíbrio (THE MODULOR, 19xx). A partir da análise de obras clássicas, ele

encontrou relações entre a proporção áurea e na altura média do corpo humano, considerado de seis pés, o que equivale, no sistema métrico, a aproximadamente 1,83 m. Com o *Modulor*, Le Corbusier esperava criar um sistema de proporções ideais para auxiliar no projeto arquitetônico mantendo-se a escala humana em mente. Seu objetivo era uma metodologia internacional que guiasse o processo de projeto acreditando ser esta a inovação necessária ao movimento modernista. A Figura 2.5 mostra as relações métricas proporcionais do *Modulor*.

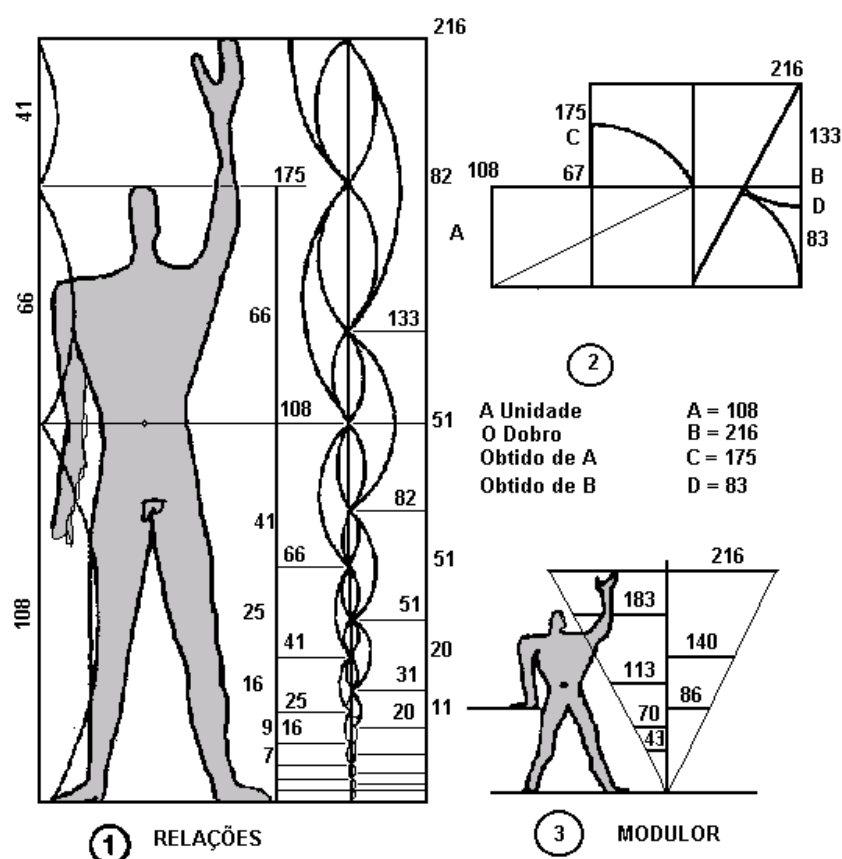


Figura 2.5 - *Modulor* de Le Corbusier.

As normas estéticas são freqüentemente encontrados nos projetos de Frank Lloyd Wright, Le Corbusier e Mies van der Rohe. Exemplos famosos do uso de formas geométricas elementares como princípio regulador para as partes principais do edifício são as pirâmides do Egito em prismas de base triangular, a *Villa Savoye* em forma de cubo e a *Villa Capra* com planta quadrada envolvendo um círculo central (MAHFUZ, 1995).

Pela análise dos processos de composição nota-se que, na maioria das vezes, os métodos descritos se apresentam combinados, embora, geralmente, um deles domina

o processo controlando as partes mais importantes e o outro, ou os outros, são utilizados na geração das partes secundárias. Desta forma, eles devem ser entendidos como aspectos complementares do exercício da arquitetura, que utiliza sempre a analogia como instrumental na geração da forma.

A *Villa Capra*, de Andrea Palladio, é também chamada de *Villa Rotunda* e apresenta uma combinação dos métodos de composição. Enquanto sua planta é perfeitamente simétrica desenvolvida em torno de um hall central circular, a casa é assimetricamente locada no terreno fazendo com que cada uma de suas varandas se relacione diferentemente com a topografia e o entorno. A influência do Pantheon é evidente, inclusive pela planta unitária e varandas frontais. A Figura 2.6 mostra a *Villa Capra*, construída em 1550, em vista frontal, planta e elevação.

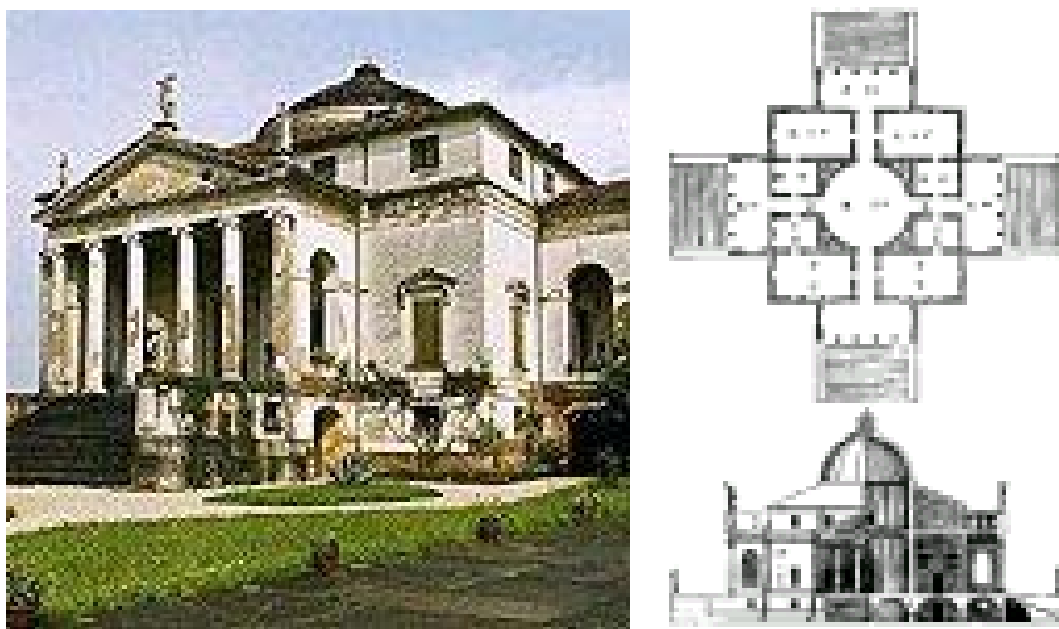
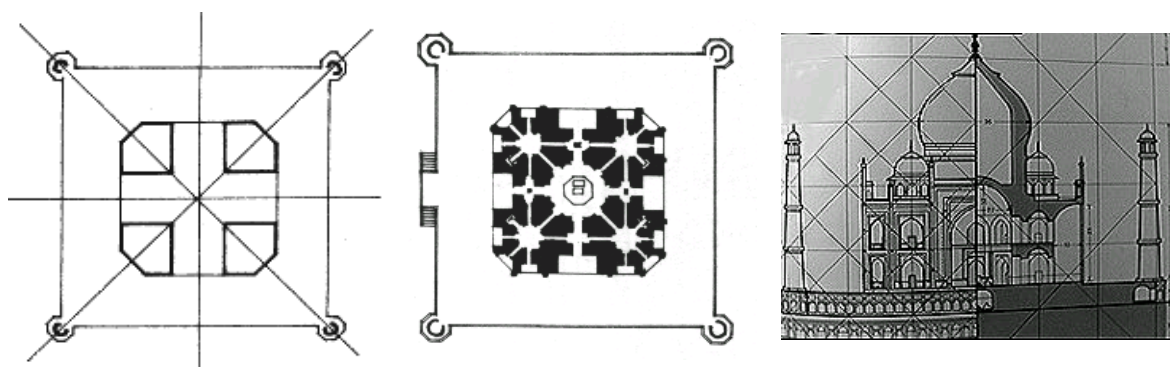


Figura 2.6 - *Villa Capra*: Andrea Palladio (ARCHINFORM, 1994).

Outro exemplo clássico da arquitetura no qual pode ser observada a combinação de métodos de composição é o Palácio *Taj Mahal*, Índia, construído em alvenaria entre os anos 1630 e 1653 como mostra a Figura 2.7.

Figura 2.7 - *Taj Mahal* (TGBC, 1997 a).

Os princípios deste projeto correlacionam a massa, a geometria e a planta geradora do conjunto como mostra a Figura 2.8. A simetria é controlada por eixos primários e secundários, na planta e na elevação apresentando interação rítmica dos pórticos e nos elementos periféricos. Estão presentes motivos e elementos da arquitetura islâmica caracterizada pela planta centralizada unindo o pátio, os pórticos, as cúpulas e as entradas, mensagem cultural expressa através de símbolos estabelecidos (BAKER, 1998).

Figura 2.8 - Detalhes compositivos do *Taj Mahal* (BAKER, 1998).

Em toda arquitetura deve haver uma componente tradicional, histórica, representada pela presença de tipos em sua constituição, mas uma componente criativa representada pela transformação desses tipos e sua adaptação circunstancial são características das obras inovadoras.

2.1.4. Idéias formativas

A análise da forma arquitetônica de edifícios e a identificação dos modelos arquitetônicos ou idéias formais, das quais a arquitetura pode se desenvolver, foca-se no desenvolvimento da teoria para gerar idéias no processo de projeto.

Similaridades nos projetos são encontradas independentemente da época, estilo, local, função, tipo de edifício ou ainda dos arquitetos que exemplificam significativamente diferentes propostas. Estas similaridades podem ser agrupadas em temas dominantes ou idéias formativas que auxiliam na geração dos projetos (CLARK & PAUSE, 1996).

A idéia formativa pode ser entendida como um conceito que o profissional utiliza para influenciar ou dar forma ao projeto. As idéias formativas oferecem diferentes maneiras de organizar decisões, de colocar ordem e de, conscientemente, gerar formas fazendo com que o uso de diferentes ordenações de idéias leve à produção de resultados diferentes. Quando se decide por uma forma em detrimento de outra, o profissional inicia o processo de definição formal determinando a maneira com que esta forma se difere de tantas outras.

Baker (1998) seleciona alguns aspectos mais relevantes da forma para o estudo analítico da obra de Le Corbusier, mas que poderiam ser utilizados em análises de outras obras, de outros profissionais. Estes aspectos são caracterizados como forças do lugar, formas centróide e linear, dinâmica da forma, sistemas nucleares, lineares, axiais, escalonados, radiais, entrelaçados e distorção da forma.

Clark & Pause (1996) selecionaram e analisaram 88 obras representativas para a arquitetura, de diversos profissionais, ao longo da história, focando a idéia formativa e levando em consideração vários aspectos como a estrutura, iluminação natural, massa, circulação, geometria, hierarquia e relações de planta para seções e/ou elevações, de unidade e todo, de repetição e unicidade, de simetria e balanço, de adição e subtração e de progressões e redução na formação de idéias. A partir do estudo destes autores, em obras consideradas inovadoras e de valor arquitetônico, modelos de configuração da idéia formativa foram identificados.

Nas obras em alvenaria estrutural encontram-se inovações tecnológicas aplicadas a partir de conceitos que buscam a compatibilidade entre a geração da forma arquitetônica, na fase de concepção, e o projeto estrutural pela melhoria da construtibilidade, proporcionando melhores soluções técnicas.

Esses conceitos podem ser classificados de acordo com as idéias formativas de unidade e todo, de simetria e balanço e de malhas propostas por Clark & Pause (1996). O elemento estrutural bloco define a relação de unidade para a geração da forma. O conceito de simetria e balanço é exigido para adequações do projeto arquitetônico às exigências estruturais e características inerentes à alvenaria estrutural. O conceito de malhas é utilizado na modulação de projetos, tanto para configurações horizontais como verticais, para modulação de fiadas e paginação de paredes, em função das características dimensionais dos blocos.

2.1.5. O caráter individual na geração da forma arquitetônica

Segundo Mahfuz (1995), o processo de projeto em arquitetura pode acontecer de duas maneiras. Numa relação mais simples entre definição e interpretação, a solução para um problema arquitetônico é a resposta direta aos dados objetivos do mesmo, resultando em soluções sem capacidade para transcender ao seu valor pragmático e utilitário. Numa relação mais complexa, ao programa interpretado é acrescido um valor modificador que é definido por quem projeta. E este valor modificador está intimamente ligado às experiências passadas, à personalidade, às expectativas, às imagens que lhe são significativas, ou seja, às características pessoais do arquiteto. Considera-se ainda o estágio de desenvolvimento tecnológico na época e na região, bem como o acesso às tecnologias disponíveis.

A arquitetura se realiza através da familiarização do profissional com certas estratégias de trabalho que são empregadas em várias combinações. Desta forma, elas são aprendidas por experiência, sendo assimiladas novas lições em cada projeto desenvolvido e executado. O ato de projetar fundamenta-se em uma base filosófica como um guia para a tomada de decisões e o método de projeto de cada profissional mostra-se mais ou menos intuitivo, estando intimamente relacionado com os princípios defendidos pelo mesmo (BAKER, 1998).

Segundo Maeseneer (*apud* TURKIENICZ, 1994), as principais idéias que inspiram nosso patrimônio arquitetônico de tipos, estilos e movimentos são identificáveis, não a partir de pressupostos culturais, mas ao contrário, pelo trabalho diferenciado de alguns profissionais excepcionais, que se contrapõe às tendências estabelecidas que governaram suas épocas. Afirma ainda que, a criatividade é baseada não somente em um melhor entendimento do que já existe, mas na suspensão momentânea do que é conhecido e das linguagens em que é conhecido, concentrando-se precisamente na capacidade de desenhar novos objetos utilizando elementos pertencentes a outros. A

nova configuração cria uma terceira imagem, esta sim, verdadeiramente nova e genial. Esta característica determina a genialidade e a diferenciação de alguns trabalhos considerados inovadores, elaborados por profissionais que se diferenciam na história da arquitetura.

É comum, entre profissionais renomados que traçaram rumos e influenciaram seus pares na história da arquitetura, uma descrição para a idéia básica do projeto, decompondo-o em partes conceituais e que tentam descobrir a natureza da edificação antes mesmo de qualquer definição física ou formal.

Para uma melhor compreensão de processos de projeto arquitetônico, foram eleitos os trabalhos de alguns desses profissionais como Alvar Aalto, Álvaro Siza, Antônio Gaudi, Eduardo Torroja, Frank Lloyd Wright, Le Corbusier, Lúcio Costa, Louis Kahn, Mario Botta, Mies van der Rohe e Oscar Niemeyer. Os aspectos relativos à composição e à geração da forma arquitetônica adotados por eles são descritos a seguir. O trabalho de Eladio Dieste será apresentado, analisado e discutido em um capítulo à parte.

Segundo Muller (2003), uma das grandes contribuições de Frank Lloyd Wright para a história da arquitetura é a inovação no pensamento da arquitetura como ação de um sujeito e não como construtora de objetos, possibilitando espaços de reencontro do homem consigo mesmo e com a realidade que o cerca, idéia concretizada nas obras eclesiásticas que concebeu. A arquitetura segue não apenas sua função, mas é concebida como espaço interior, espaço este visto como a realidade do edifício e que permite a consumação de um ambiente que abrange e afeta toda a sociedade a partir do próprio homem. Evidencia-se a filosofia do edifício que precede qualquer outra consideração a partir de uma idéia forte, um conceito central que organiza o todo e sua relação com o entorno. Em sua obra, o caráter dinâmico dos elementos construtivos reflete seus ideais orgânicos, que privilegiam homem e natureza, sendo desses extraídos o simbolismo para estabelecer os critérios formais da arquitetura.

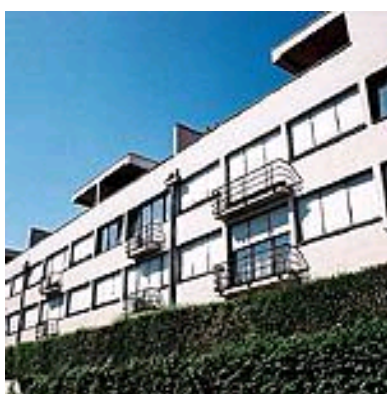
A Figura 2.9 mostra a Casa da Cascata, projeto de 1936, mundialmente conhecido, de acordo com o que o arquiteto teria imaginado. Mostra duas vistas externas de ângulos diferenciados, em detalhe a vista da sala de estar, que abre para a varanda, sugerindo continuidade entre interior e exterior.



Figura 2.9 - Casa da Cascata: Frank Lloyd Wright
(ARCHITECTURE OF FRANK LLOYD WRIGHT, 1996).

A arquitetura de Mies van der Rohe expressa geometria, tipicidade, impessoalidade, proporção e repetição rítmica. Axialidade e simetria organizam as plantas, apresentando absoluta regularidade, ortogonalidade e desenvolvimento horizontal do espaço interno entre forro e piso, além de uma pureza estrutural. Em sua obra, o caráter programático e individual dos edifícios é desprezado em prol de uma caracterização genérica e universal da arquitetura (COMAS, 1994).

A Figura 2.10 mostra a arquitetura de Mies van der Rohe no protótipo para apartamentos de baixo custo em estilo internacional, Weissenhof, Alemanha, 1927, o *Crown Hall* no Instituto de Tecnologia de Illinois, Chicago, 1950 e o *Seagram Building* em estrutura de aço, Nova York, 1954.



(a) Apartamentos Weissenhof



(b) *Crown Hall*



(c) *Seagram Building*

Figura 2.10 - Exemplos da arquitetura de Mies van der Rohe (TGBC, 1997 b).

2 - Processo de Projeto em Arquitetura e Processos Construtivos

A transformação da idéia em realidade física torna a arquitetura de Louis Kahn notável pela simplicidade, formas plásticas e composições. Através da utilização de tijolos e alvenaria de concreto ele desenvolveu uma arquitetura contemporânea e monumental, mantendo o respeito pelo entorno. A Figura 2.11 mostra a Primeira Igreja Unitária de Rochester, projeto de Louis Kahn, construído entre 1959 e 1967 em Nova York em vista e em croquis.

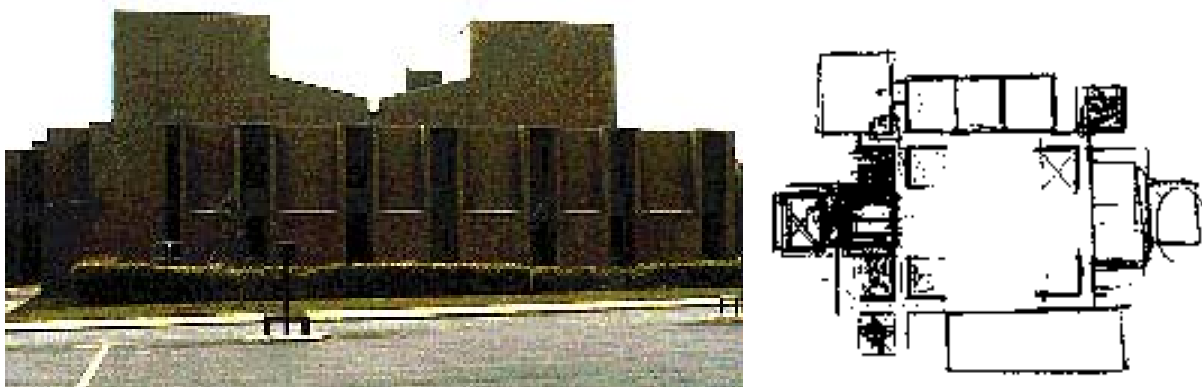


Figura 2.11 - Primeira Igreja Unitária de Rochester: Louis Kahn (TGBC, 1997 b).

Em suas obras, as raízes no estilo internacional estão presentes com características peculiares influenciadas pela *École des Beaux-Arts*. A Figura 2.12 mostra alguns exemplos da arquitetura de Louis Kahn: o Instituto de Salk, Califórnia, construído entre 1959 e 1966; o Instituto de Administração Pública, Índia, de 1963 em alvenaria e concreto e o detalhe de uma unidade do Centro Médico Richards, construído entre 1957 e 1961.



(a) Salk Institute

(b) Instituto de Administração Pública

(c) Centro Médico Richards

Figura 2.12 - Exemplos da arquitetura de Louis Kahn (TGBC, 1997 b).

Le Corbusier, no início de sua carreira, procura transferir princípios evidentes da natureza para a forma arquitetônica, podendo o caráter especial dado a cada casa ser comparado ao caráter diferenciado dos organismos naturais. Em outras obras utiliza um formato simétrico, enriquecido por contrastes entre formas cúbicas e cilíndricas, dando aos volumes primários significados próprios (COMAS, 2002).

Os procedimentos adotados por Le Corbusier podem ser caracterizados, de acordo com as idéias formativas descritas por Baker (1998) de sobreposições, fusões de objetos, repetição de formas peculiares, ritmos baseados em curvas e repetidos em cilindros, ampliando sua gama compositiva.

A Figura 2.13 mostra a *Villa Savoye*, habitação rural sobre pilotis, com cobertura plana e *deck*, rampa e algumas paredes curvas. Trata-se de um dos primeiros exemplos, e também clássico, do estilo internacional, desenvolvido em 1928. Enquadra-se no método inovativo pois direciona o sentido principal do movimento das pessoas para o vertical, visando a integração com a natureza no terraço-jardim, diferentemente do padrão adotado na época para casas de campo.



Figura 2.13 - *Villa Savoye* de Le Corbusier: vista externa e detalhe da escada (TGBC, 1997 a).

A Figura 2.14 mostra *Notre Dame du Haut* mais conhecida como Capela de Ronchamp, França, projeto inovador de 1955, em vista frontal e em planta. Neste projeto Le Corbusier utiliza as proporções do *Modulor* apresentada no item 2.1.3 deste capítulo.

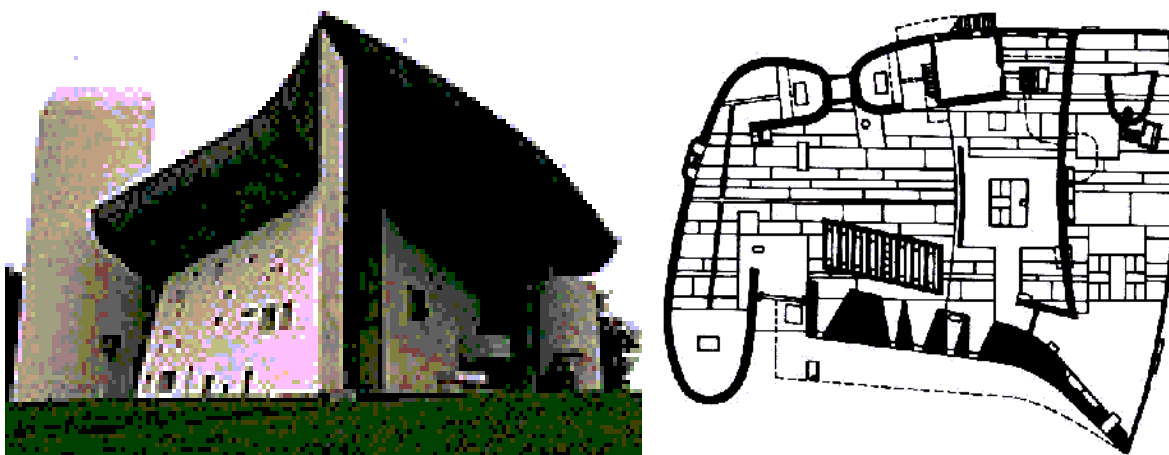


Figura 2.14 - Capela de *Notre Dame du Haut* em Ronchamp: Le Corbusier (TGBC, 1997 a).

A planta da capela apresenta paredes curvas organizadas em função de uma retícula tridimensional cartesiana como mostra a Figura 2.15.

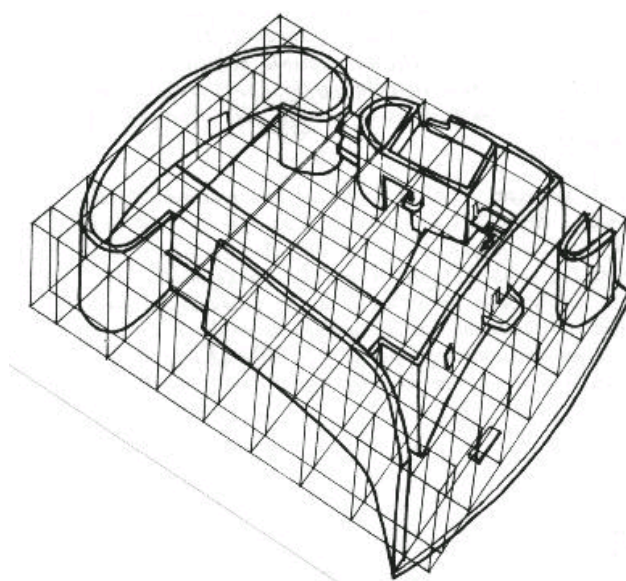


Figura 2.15 - Planta de Ronchamp: croquis sobre retícula cartesiana (BAKER, 1998).

A arquitetura moderna, caracterizada em uma fase posterior da obra de Le Corbusier, expressa o estilo da era da máquina como uma resposta ao avanço na técnica de construção, baseado na repetição de formas peculiares. O processo do projeto arquitetônico da Unidade de Habitação de Marselha foi totalmente guiado pela utilização do Modulor, fazendo com que todo o edifício possua apenas dezessete dimensões. A Figura 2.16 mostra a Unidade de Habitação de Marselha, residência multifamiliar de 1946 (direita) e o Centro Le Corbusier na Suíça, 1963 (esquerda).



Figura 2.16 - Exemplos da arquitetura moderna de Le Corbusier (TGBC, 1997 a).

Enquanto Mies van der Rohe e Le Corbusier preocupam-se com o com a representação de uma época, a obra de Oscar Niemeyer segue a *École de Beaux-Arts*. Niemeyer condena a repetição que levam aos edifícios a perderem o caráter indispensável que suas finalidades e suas conveniências deviam exigir, passando a apresentar aspectos idênticos a despeito de seus programas. Multiplicidade e diversidade se justificam alternativamente como respostas a um contexto urbanístico preciso e têm função de explicitação visível da fisiologia do edifício, de representação de programa e/ou de situação, caracterizando a importância dada ao lugar (COMAS, 1994).

Niemeyer descreve sua própria obra dividindo-a em duas partes, antes e depois do período em exílio. A primeira, onde se inclui a Pampulha, em Belo Horizonte, trata da contestação do funcionalismo ortodoxo e Brasília onde defende a liberdade plástica, a forma livre e criativa, a leveza e a invenção arquitetônica. Posteriormente, seu objeto passou a ser, mais do que exibir sua arquitetura, mostrar o desenvolvimento da engenharia do seu país, exibindo a técnica construtiva através da criação de vãos enormes e de balanços surpreendentes (NIEMEYER, 1999).

A concepção da Pampulha baseia-se na busca pela forma livre e pela utilização do elemento curva, sem cair nas teorias que mantinham a arquitetura moderna numa atmosfera de repetição e monotonia.

A Figura 2.17 mostra a Igreja da Pampulha com cobertura de concreto armado em abóbadas construída em 1942, obra que expressa a arquitetura inovadora e moderna de Oscar Niemeyer.

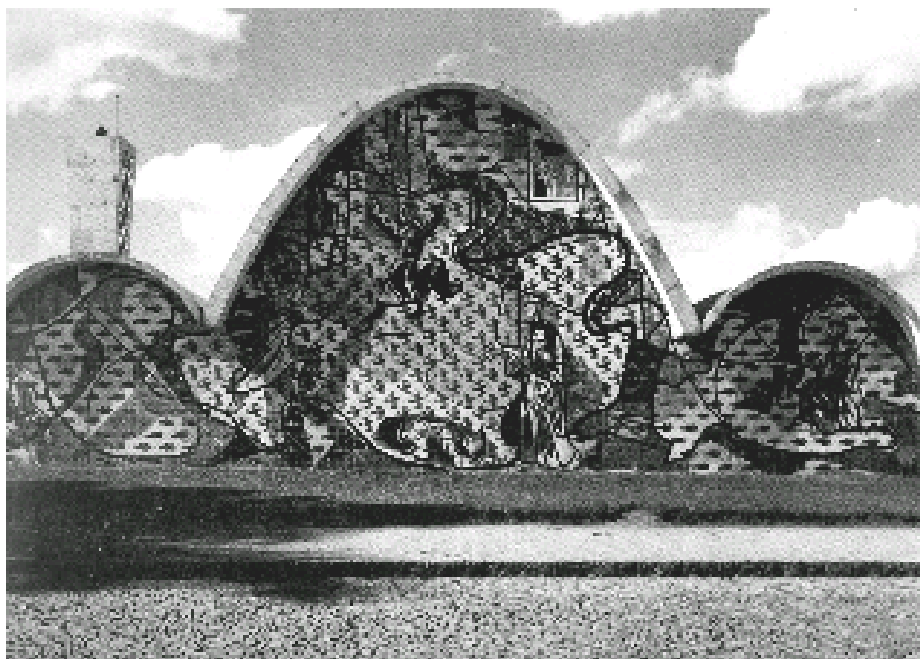


Figura 2.17 - Igreja da Pampulha: Oscar Niemeyer (NIEMEYER, 1999).

A Figura 2.18 mostra o Palácio da Alvorada, primeiro edifício inaugurado em Brasília, em junho de 1958, às margens do Lago Paranoá. O partido arquitetônico destaca-o como marco visual, reforçado pela escala monumental e pela homogeneidade do conjunto dos edifícios dos Ministérios. Trata-se de um contraste entre a simplicidade da planta baixa e a complexidade da solução estrutural e volumétrica com seus pilares de seção parabólica.



Figura 2.18 - Palácio da Alvorada: Oscar Niemeyer (CENDOTEC, 19xx).

Outro exemplo da diversidade formal encontrada na obra de Niemeyer é a Catedral de Brasília mostrada na Figura 2.19, que apresenta características implícitas de simetria e balanço, de unidade e todo e de repetição rítmica.



Figura 2.19 - Catedral de Brasília: Oscar Niemeyer (NIEMEYER, 1999).

A participação de Lúcio Costa é fundamental na revolução da arquitetura brasileira na década de 30, cuja influência de Corbusier associada a aspectos da cultura brasileira é notória. Nos projetos de Lúcio Costa, os elementos de arquitetura que atualizam uma tradição construtiva racional e nacional, incluem soluções estruturais, de cobertura e de vedação, não se restringindo aos detalhes e constituindo uma renovação compositiva motivada pelo desejo de caracterização de uma época (COMAS, 2002).

Para Rego (2001), na arquitetura de Álvaro Siza encontram-se variados elementos de formas que nos reportam a experiências anteriores de outros profissionais, dentre eles Le Corbusier, Frank Lloyd Wright e Mies van de Rohe, revividas em uma relação intencional. Sua arquitetura apresenta-se como interferência de uma realidade, ratificando a idéia de que a arquitetura nunca surge do vazio. Esta transformação da realidade é expressa por uma arquitetura organicista, que recria a idéia de lugar, respeitando a natureza e a relação material do desenho com o contexto.

Segundo Rocha (2002), o respeito e a valorização da natureza refletida na arquitetura encontram-se também presentes na obra de Antônio Gaudi, que sempre rejeitou a dureza das linhas retas e a rigidez das formas ortogonais. Ele considerava a linha curva como paradigma das formas da natureza, um legado divino, e a reta como

criação menor, humana, pensamento este explicitado na afirmação de que a realização de alguma coisa requer a colocação de sua lei de acordo com a lei da Criação o que prescinde de experiência que é a sanção da criação. Sua produção arquitetônica expressa beleza e emoção através de um profundo rigor técnico.

O aspecto inovador da obra de Antonio Gaudi está presente no arrojo das soluções e na ousadia no uso das técnicas e materiais conhecidos. A forma inovadora e ambígua de estabelecer um diálogo intenso entre o formal e as soluções estruturais explicita a necessidade de estruturar os espaços previamente à destinação do mesmo como ocorre nos exemplos já citados da *Villa Capra* e do *Taj Mahal*, bem como nas obras de Torroja e Nervi, o que acontece também com Eladio Dieste.

Exemplo desta solução compositiva e estrutural pode ser encontrado na exploração do uso de grandes vãos que permite maior liberdade projetual, considerado uma conquista da era do concreto e do aço. No entanto, esta solução já havia sido explorada por Gaudi há quase um século na Casa Milá, em Barcelona, na qual foi tirado proveito da organização livre da planta dos diversos apartamentos em função das necessidades individuais dos proprietários.

A Figura 2.20 mostra o expressionismo através das formas orgânicas da Casa Milá, prédio multifamiliar construído entre 1905 e 1910 em alvenaria e concreto, em Barcelona, Espanha.



Figura 2.20 - Casa Milá: Gaudi (TGBC, 1997 a).

De acordo com Rocha (2002), a inovação e a criatividade não negavam os valores e tradições de sua cultura catalã. A obra de Gaudi está impregnada pelos acontecimentos culturais e econômicos de sua época e sua produção arquitetônica pode ser vista como um ponto de encontro da cultura de seu povo. Pode ser analisada sobre a perspectiva da arquitetura como fato cultural, que reflete a produção de uma comunidade, respeitando a genialidade do autor, mas permitindo a análise da obra arquitetônica como algo que transcende à obra do mesmo. A Figura 2.21 mostra a Sagrada Família, obra iniciada em 1882 em alvenaria estrutural, em Barcelona, Espanha.



Figura 2.21 – Igreja da Sagrada Família: Gaudi (PHOTOGUIDE.TO, 1998).

Eduardo Torroja revolucionou o uso das estruturas nos projetos de arquitetura, passando de um grupo de cálculos a uma maneira lógica e simples de entender a natureza e a técnica. Este construtor colaborou com vários arquitetos e engenheiros criando o *Instituto Técnico de la Construcción y la Edificación* visando o desenvolvimento da ciência da construção. Sua obra caracteriza-se pelo uso da imaginação a serviço da técnica, da lógica estrutural e da necessidade construtiva, ampliando o critério lógico no uso dos esforços possibilitando uma leveza não usual ao uso do concreto armado.

Torroja desenvolveu um procedimento para a utilização dos materiais, respaldado em cálculos matemáticos, para que, com um mínimo de armadura, fosse alcançado um máximo de resistência dos mesmos. Utilizando estruturas laminares para coberturas em concreto possibilitou o desenvolvimento da ciência da construção, perseguindo critérios mais modernos e construindo membranas que envolviam e davam uma nova leitura aos espaços construídos.

A Figura 2.22 mostra um detalhe interno da cobertura do *Frontón Recoletos*, construído em Madri, em 1935. A cobertura para o vão de 55m foi solucionada com uma abóbada que trabalha como viga, sustentada pelas paredes, aplicando o conceito de viga díptera, um de seus principais aportes. A Figura 2.23 mostra uma vista geral do Mercado de Algeciras construído em Cadiz, 1933.



Figura 2.22 - *Frontón Recoletos*: Eduardo Torroja (ESTRUCTURAS LAMINARES, 19xx).



Figura 2.23 - Mercado de Algeciras: Eduardo Torroja (ESTRUCTURAS LAMINARES, 19xx).

Nobre (1994) afirma que Mário Botta delineia uma arquitetura em contato com o lugar, como recortada da natureza e da paisagem circundante e polariza a tendência regionalista na Europa, moldando espaços em função do território. A simetria e a geometria são instrumentos freqüentemente utilizados, principalmente para alcançar o

equilíbrio da luz no interior dos espaços. Através de linhas marcadas, perfis evidentes, superfícies baseadas em figuras geométricas regulares e interrompidas por aberturas, reentrâncias e passagens que se transformam em fontes de iluminação e em pontos de observação para o exterior, cria uma arquitetura personalizada, que supera seu regionalismo. A preocupação com a economia apresenta-se marcante em sua obra, expressa através da utilização de materiais de baixo custo e explorados pelo uso da cor em diferentes planos da fachada introduzidos como valor de qualidade. Isto permite a redução do impacto volumétrico de longos blocos, fragmentados em planos sobrepostos e descontínuos.

Os elementos utilizados por Mario Botta mostram que a sua forma de dialogar com o espaço apresenta-se diferenciada dos trabalhos de Gaudi e de Niemeyer que apóiam-se em uma visão mais organicista. A Figura 2.24 mostra duas residências em alvenaria estrutural de Mario Botta, na Suíça, construídas no início dos anos 70.

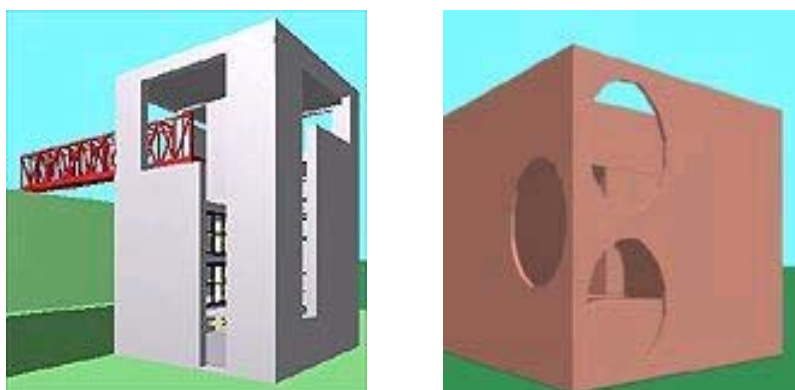


Figura 2.24: Projetos residenciais de Mario Botta: maquetes eletrônicas (TGBC, 1997 a).

Alvar Aalto utiliza textura, cor e estrutura de uma maneira criativa, recriando a arquitetura moderna. Seus projetos apresentam significado particular na arquitetura devido ao diálogo criado entre material, forma e lugar. A Figura 2.25 mostra a expressão na arquitetura de Alvar Aalto.



Figura 2.25 - Projetos residenciais de Alvar Aalto: maquetes eletrônicas (TGBC, 1997 a).

A descrição da forma de trabalho destes profissionais direciona para um entendimento de que a experiência adquirida, a carga cultural, a formação e a personalidade pessoal é fator determinante na concepção, na criação e na definição do processo de composição arquitetônica adotado. A necessidade de estruturar os espaços, a preocupação pelo espaço significativo e disponível, na maioria das obras destes grandes arquitetos e engenheiros, antecede a preocupação pelo uso. Essas características individuais delineiam trabalhos característicos e inovadores da arquitetura, identificáveis e reconhecidos internacionalmente, como é o caso das obras de Eladio Dieste, objeto deste trabalho.

2.1.6. A qualidade na atividade de projeto arquitetônico

A utilização da tecnologia na atividade construtiva pressupõe um desenvolvimento intelectual e abstrato prévio à execução através do estudo, desenvolvimento e planejamento detalhado e minucioso das formas, materiais, comportamentos físicos e estruturais. De acordo com Fabrício & Melhado (2002) o projeto é o método pelo qual a tecnologia é aplicada ao planejamento.

A qualidade do produto final edificação pode ser implementada a partir da aplicação de medidas de racionalização construtiva na fase de concepção de projeto, uma das etapas do processo de produção do empreendimento. Dentre os princípios aplicados destacam-se a construtibilidade, o desempenho e a garantia da qualidade.

Segundo o *Construction Industry Institute – CII* (1986), construtibilidade envolve ações a serem incorporadas não somente na fase de projetos mas em todas as etapas do processo de produção de edificações, visando atingir os objetivos globais do empreendimento. Essa definição ressalta a importância do envolvimento de todos os profissionais participantes, em busca de melhores produtos finais.

A aplicação do conceito de desempenho no campo de projetos, segundo Sabbatini (1989), aplica-se à fase de elaboração, através do estabelecimento de especificações mais precisas para a obtenção de um produto de maior qualidade que atenda às expectativas do usuário.

A garantia da qualidade na construção vem sendo implementada através da utilização de conceitos da Qualidade Total e Gestão da Qualidade, conceitos esses aplicados em outros setores industriais com o objetivo de expansão ou permanência no mercado competitivo. Dentre as ações que permitem a aplicação dos conceitos da qualidade, incluem-se melhorias tanto na elaboração de projetos quanto na construção e a

necessidade de comunicação entre os projetistas e as equipes de execução (FRANCO, 1996; GEHBAUER *et al.*, 2002).

A qualidade do projeto arquitetônico é uma condição necessária para implantação de uma política de racionalização e qualidade. A coordenação de projetos representa um papel importante que permite uma integração entre os projetistas e construtores através da adoção de uma nova estrutura de desenvolvimento dos mesmos. Permite o controle em cada uma das fases do processo de projeto de arquitetura visando a qualidade do mesmo e assegurando a compatibilidade com os condicionantes e expectativas definidas para o empreendimento.

Segundo GEHBAUER *et al.* (2002), os principais objetivos da coordenação de projetos podem ser definidos como a garantia da perfeita comunicação entre os projetistas bem como a troca de informações entre os diversos integrantes do empreendimento e a garantia de comunicação e integração entre as diversas fases do empreendimento. Busca-se solucionar as interferências entre as partes elaboradas pelos distintos projetistas, garantir a coerência entre o produto projetado e o modo de produção focando a tecnologia do processo construtivo adotado. É também papel da coordenação a condução das decisões a serem tomadas durante o desenvolvimento de projetos controlando as etapas desse desenvolvimento visando o atendimento das especificações e requisitos previamente definidos, incluindo prazos, custos e especificações técnicas.

As práticas adotadas para a atividade de coordenação de projetos em alvenaria estrutural estão intimamente relacionadas com o aspecto estrutural deste sistema construtivo. Durante o processo de elaboração de projetos, é fundamental a coerência entre suas especificações e as condições das etapas de construção, considerando os materiais a serem utilizados, a facilidade de execução, a assimilação e a aprendizagem das técnicas propostas pelas equipes de obra.

Dentre estas práticas, ressaltam-se a integração entre os projetos arquitetônico e estrutural buscando o aproveitamento do potencial do elemento parede desempenhando simultaneamente funções de vedação e de sustentação. O arranjo arquitetônico deve ser estabelecido a partir do trabalho conjunto entre os projetistas dessas áreas para que sejam respeitados as questões funcionais, estéticas e os demais condicionantes técnicos (HENDRY, 1998).

A coordenação modular e dimensional é premissa básica para a qualidade no desenvolvimento de projetos em alvenaria estrutural. Trata-se de uma outra prática que facilita a implantação de medidas de racionalização construtiva. Na fase de

desenvolvimento de projetos permite maior agilidade de execução através da criação de métodos executivos e padronização de detalhes e especificações.

Ao mesmo tempo, essa prática é refletida nas outras fases da produção da edificação permitindo a introdução de procedimentos padronizados de execução, aumentando a precisão na construção o que acarreta menores desperdícios e retrabalhos, diminuindo o tempo de produção.

A coordenação de projetos e a aplicação de medidas como a coordenação dimensional entre os elementos permitiu a melhoria da qualidade, antecipando e resolvendo problemas de interferência entre os subsistemas da alvenaria estrutural como instalações prediais, esquadrias e revestimentos (FRANCO, 1996; GEHBAUER *et al.*, 2002).

2.2 Processos construtivos

A busca por uma melhor solução técnica e pela redução de custos da construção tem sido objeto de pesquisa e trabalho de vários pesquisadores, em diversos locais (CORREA & RAMALHO; MAMEDE *et al.*; SANTOS & SINHA, 2002; CARVALHO *et al.*, 2003 a; D'ARAGON, 2003; FRANCO, 1992, 1996; GEHBAUER *et al.*, 2002; KOSKELA; SAN MARTIN & FORMOSO, 1998; LOMBARDO, 2003; MUTTI, 1995; NASCIMENTO NETO, 1999; ROMAN & SINHA, 1994). Neste sentido, a interação entre a concepção arquitetônica e o sistema estrutural é essencial para alcançar uma melhor eficiência construtiva.

As propriedades e características dos materiais a serem empregadas, bem como as peculiaridades do sistema e do processo construtivo, são determinantes na solução final do projeto arquitetônico e devem ser bem conhecidas e entendidas para uma melhor racionalidade do processo construtivo (CARVALHO *et al.*, 2001).

As soluções de projeto adotadas para um determinado sistema construtivo devem ser específicas e adequadas para aquele processo, materiais e características específicas do sistema escolhido. Quando se pretende adequar este mesmo projeto para qualquer outro sistema construtivo, os benefícios obtidos em função das características do sistema previamente escolhido são prejudicados em detrimento das adaptações que se fazem necessárias.

Na década de 80, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) realizou diagnósticos setoriais da Indústria da Construção Civil delineando um perfil do subsetor edificações no Brasil que contemplou elementos históricos, desempenho

tecnológico e tendências de racionalização da construção. Este perfil auxiliou a formulação de diretrizes referentes ao desenvolvimento de tecnologias de produtos e processos e de transferência de tecnologia ao parque produtor (FARAH, 1988).

Dentre os sistemas construtivos que apresentam um grande potencial de utilização, destaca-se a alvenaria estrutural que apresenta grande flexibilidade arquitetônica devido às propriedades dos materiais utilizados, principalmente o bloco, que também oferece possibilidades esteticamente atraentes para acabamento. Apesar dessa flexibilidade, a maioria das obras executadas em alvenaria estrutural não explora a potencialidade estética e também estrutural do material, apresentando soluções repetitivas sobre o ponto de vista formal da arquitetura (PEDRESCHI, 2002).

2.2.1 O perfil da construção civil no Brasil

A autoprodução apresentou-se como característica da construção civil no Brasil até meados do século passado. Os processos produtivos então utilizados, na sua maioria, consistiam na elaboração de materiais locais específicos para cada obra. A partir da segunda metade do século passado, observa-se a difusão de uma nova forma de construir envolvendo a cientificação das atividades de projeto através da criação de escolas de engenharia e o fornecimento de materiais e componentes industrializados (FARAH, 1988).

As transformações sociais ocorridas a partir dos anos 30 repercutiram na construção civil. O subsetor edificações, especialmente, teve considerável impulso devido às crescentes taxas de urbanização e à intervenção do Estado no campo da habitação, através de Institutos de Previdência e da Fundação da Casa Popular. Houve a consolidação da nova forma de construir, a absorção de inovações tecnológicas oriundas da indústria de materiais e componentes e o desenvolvimento científico a partir da criação e desenvolvimento de instituições de apoio tecnológico e de normalização. Iniciativas pontuais de modernização tecnológica da atividade de construção, embora presentes, não constituíram em mudança no plano tecnológico (IPT, 1983).

A primeira atividade técnica relacionada com a alvenaria teve início em 1931, com a elaboração do primeiro texto básico para especificações dos tijolos maciços. Em 1943, foram definidas as Especificações Brasileiras para tijolos maciços e furados de barro cozido. Em 1945, surgiram as normas de ensaio à compressão também para tijolos cerâmicos. Essas ações foram isoladas e não tiveram relação com o uso da alvenaria como função estrutural.

Com a tomada do poder pelos militares em 1964, e o deslocamento do investimento para as obras de grande porte, o subsetor edificações apresentou uma desaceleração. A criação do Banco Nacional da Habitação (BNH) buscou responder às necessidades crescentes de habitação, que identificou, naquele ano, um déficit habitacional de oito milhões de moradias. Com essas medidas, foi possível a expansão do subsetor, refletindo-se na indústria de materiais e componentes (FARAH, 1988).

A partir de 1974, a economia brasileira apresentou sinais de desaceleração que se refletiram, de maneira mais lenta, na construção civil que manifestou a crise, principalmente, a partir de 1983. Programas estatais mantiveram o nível de atividade do setor, particularmente através da construção de grandes conjuntos habitacionais. Posteriormente, medidas governamentais restritivas na economia significaram praticamente a interrupção de construções habitacionais pelo Estado e, juntamente com a extinção do BNH, completam o quadro de crise no subsetor edificações (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 1984).

Um dos maiores motivadores para o desenvolvimento de processos e sistemas construtivos no Brasil foi, e ainda é, o severo problema da escassez de moradia, agravado pela restrição de recursos do poder público, incapaz de implementar o financiamento da produção de habitações.

Na tentativa de minimizar a escassez de moradias, tecnologias de processos industrializados como painéis pré-moldados e formas túneis foram utilizadas, embora não tenham sido consideradas soluções viáveis para o mercado. O uso de materiais alternativos, geralmente à base de resíduos, esbarra na carência de dados técnicos confiáveis, especialmente relacionados com as propriedades mecânicas e a durabilidade destes materiais.

Como causas prováveis para o fato destes processos industrializados não terem se desenvolvido no Brasil podem ser apontadas o custo de materiais empregados devido à quantidade de energia necessária para sua produção, o alto investimento inicial para implementação dos processos, principalmente no que diz respeito aos equipamentos, e a falta de mão de obra qualificada e habilitada.

Nos anos 70, a Companhia de Habitação do Estado de São Paulo (COHAB-SP) destacou-se, particularmente, pela introdução de inovações tecnológicas na construção habitacional que visavam a diminuição dos prazos de execução e a redução dos custos. A modernização tecnológica promovida pelo Estado consistiu, basicamente, na adoção de novos sistemas estruturais. Neste contexto, a alvenaria estrutural despontou como um sistema construtivo adequado aos objetivos da ação estatal, que prescinde de grandes investimentos iniciais, uma exceção entre os demais

sistemas. Sua difusão ultrapassou os limites definidos pela promoção estatal, por ser considerada uma alternativa eficaz e duradoura para a construção de habitações (FARAH, 1988).

Mesmo considerando as transformações pelas quais passou o subsetor edificações, as mudanças tecnológicas foram pouco significativas, mantendo-se a forma de construir definida desde o início do século passado. Fatores que contribuem para o atraso tecnológico podem ser apontados: base manufatureira da produção caracterizada pela estrutura de ofícios, baixo grau de mecanização e uso intensivo de mão de obra; baixa produtividade do setor; problemas de qualidade do produto final; desperdícios ao longo da produção e condições de trabalho precárias. A análise destes fatores torna-se importante para a compreensão do comportamento tecnológico das empresas e das tentativas de avanço técnico do setor (VARGAS, 1979).

Na década de 90, as construtoras sentiram a necessidade de desenvolvimento tecnológico para tornarem-se competitivas e atuarem nas classes mais baixas do mercado, oferecendo habitações de menores custos. Buscavam-se alternativas de processos construtivos racionalizados, investimento em equipamentos e ferramentas, capacitação das equipes de produção e adoção de formas claras de negociação com os operários.

Embora este atraso ainda esteja presente, a existente absorção de inovações é oriunda da indústria de materiais e componentes. Através de pesquisa, desenvolvimento e divulgação técnica, proporcionados principalmente pelo segmento responsável pela produção de materiais e insumos industrializados, dá-se a introdução e a difusão de inovações tecnológicas na área da construção. No entanto, esta absorção freqüentemente apresenta falhas associadas à introdução de novos produtos que apresentam problemas relativos à falta de padronização e de informações quanto às características, propriedades e formas de aplicação. Falhas decorrentes da ausência de integração entre fornecedores e empresas de construção e deficiências de normalização técnica também prejudicam essa absorção (FARAH, 1988).

A racionalização, a busca pela qualidade, a qualificação da mão de obra e a normalização de projetos e de materiais estão entre os temas desenvolvidos em trabalhos acadêmicos e iniciativas da ICC com o objetivo de prover ferramentas e técnicas que garantam maior eficiência para as empresas do subsetor edificações (GUERRINI & SACOMANO, 1998).

As medidas de racionalização construtiva baseiam-se na aplicação de princípios que visam a melhoria da organização empresarial, de uma maneira ampla. Estes

abrangem todas as fases do processo de produção do edifício, desde a concepção dos projetos, o planejamento e a organização da execução, à ocupação e utilização da edificação. Dentre estes princípios, destacam-se a construtibilidade, o desempenho e a garantia de qualidade. A adoção de princípios de racionalização permite a evolução contínua dos processos construtivos permitindo maior eficiência no aproveitamento dos recursos disponíveis sejam eles materiais, humanos, tecnológicos ou organizacionais (FRANCO, 1996; GEHBAUER *et al.*, 2002).

Constata-se a necessária introdução de inovações relativas aos sistemas e processos construtivos, através da implantação de instrumentos e mecanismos de melhoria da qualidade de projetos e obras.

Em 1998, foi implantado o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H) pelo governo federal como ação para a promoção da melhoria da qualidade do habitat e a modernização produtiva do setor da construção habitacional, através do aumento da competitividade de bens e serviços. O PBQP-H se propõe a organizar o setor da construção civil envolvendo todas as empresas e entidades da cadeia produtiva, desde a indústria de materiais às empresas construtoras, os governos em todos os níveis, os agentes financiadores e promotores, as universidades, os centros de pesquisa até as organizações não-governamentais (PBQP-H, 1998).

Com a implantação do PBQP-H pretende-se o aumento da produtividade das empresas participantes através da redução de custos, treinamento dos profissionais e padronização de processos e materiais construtivos.

Para Farah (1988) o avanço tecnológico no subsector edificações pode contribuir para a solução da crise habitacional permitindo maior volume de produção e conseqüente diminuição de custos financeiros. Deve significar também uma melhoria da qualidade do produto edificação beneficiando os usuários, o poder público e as empresas, promovendo o aumento de ganhos internos e um novo padrão de relação com o usuário. Possibilita, ainda, uma melhoria nas condições de trabalho se considerarmos que ganhos de produtividade podem ser obtidos pela reversão da tendência à absorção predatória da força de trabalho, que caracteriza atualmente o setor.

2.2.2 Métodos construtivos: forma segue estrutura

O fato de a alvenaria, principalmente cerâmica, ter sido fortemente utilizada com grande maestria em estruturas na antiguidade não se trata de novidade. O grande

desafio era o de vencer grandes vãos ou fechar espaços, levando em consideração o peso próprio e a força da gravidade e trabalhando com materiais que não resistiam às tensões de tração.

Para uma melhor compreensão da relação existente entre arranjos arquitetônicos e o sistema construtivo é necessário compreender a evolução do uso das formas e a evolução dos processos construtivos para a exploração das potencialidades da alvenaria estrutural.

O arco é um elemento arquitetônico que foi empregado inicialmente pelos egípcios, babilônios, assírios e etruscos. Entretanto, os romanos foram os primeiros a desenvolver seu uso em grande escala. O arco tradicional em pedra ou tijolo, formado por vários segmentos mantidos por compressão lateral, foi desenvolvido para vencer maiores distâncias entre dois suportes do que uma peça horizontal poderia suportar. Porém esses materiais não eram capazes de suportar grandes esforços de tração. Eram utilizadas pedras de formas diferenciadas para auxiliar a transferência das tensões do arco para as paredes externas de sustentação (GOITIA *et. al*, 1995; MOOD, 2000 a).

A utilização do arco se desenvolveu da forma tradicional estendendo seu potencial e ampliando o seu uso arquitetônico para a abóbada. Arcos e abóbadas foram a grande contribuição romana para a arquitetura moderna. Um dos motivos de a abóbada ser um elemento tão utilizado até os dias de hoje foi o surgimento do concreto como material de construção, tornando a construção mais rápida e barata.

As construções em abóbadas evoluíram de romanescas a góticas e arcos de ponta, tornando-se sofisticadas e, devido ao potencial contra incêndio, seu uso difundiu-se. As tensões laterais existentes eram resistidas através do uso de alvenaria pesada. A utilização de abóbadas levou à utilização de outras formas estruturais mais complexas como o domus, também empregadas desde tempos remotos (MOOD, 2000 a).

Para a construção do arco utilizavam-se estruturas provisórias de madeira, cimbres, que eram retiradas após a colocação de aduelas, elementos em forma de cunha com função de travamento. O sistema, geralmente seguido para a construção das abóbadas, consistia em organizar estruturalmente sobre cimbres um maciço de concreto que se revestia de pedra apoiando-se em arcos, o que permitia a construção por fases. Outra solução adotada era a justaposição de uma série de arcos que se enlaçavam com lajes de enchimento sobre as quais se dispunha o concreto constituído de argamassa com pedras irregulares. Algumas vezes, introduzia-se ânforas ou tubos de argila para diminuição do peso da estrutura sem redução do seu volume (GOITIA *et al.*, 1995).

A construção de grandes abóbadas tornou-se de difícil execução, de forma que elas eram feitas em seções. Para isto, formas ou suportes temporários eram utilizados para apoiar cada seção até que as outras estivessem terminadas. Estes eram necessários, principalmente quando construídas em concreto, devido ao peso do material (MOOD, 2000 b).

Esses sistemas construtivos deram origem a alguns dos que são ainda utilizados em nossos dias. Anteriormente à Revolução Industrial, os métodos construtivos empregados apresentavam-se como uma evolução daqueles utilizados no final da Idade Média e do Renascimento, valendo-se do mesmo tipo de ferramentas e embasados no mesmo conceito construtivo.

Até o final do século XIX, constata-se a predominância do uso da alvenaria como material estrutural. Entre os anos de 1900 e 1960, sua utilização com função estrutural teve um progressivo declínio, especialmente em função do aparecimento das estruturas de concreto armado. Devido à ausência de pesquisas na área, eram empregadas sem procedimentos racionais de dimensionamento, com fatores de segurança elevados, o que acarretava em estruturas pesadas, robustas e pouco econômicas.

No século XVIII iniciam-se reflexões e experiências sobre o conceito moderno de estrutura e sistema estrutural direcionando o comportamento estrutural para cálculos que permitem a verificação de hipóteses de concepção. Com a revolução industrial e o surgimento da tecnologia, o saber científico, como forma de resolver problemas e vencer desafios estruturais e construtivos, é incorporado ao método de projetar, de forma abstrata e antecipado em relação à obra (FABRICIO & MELHADO, 2002).

A partir do início do século XIX, com a utilização do ferro como material de construção, intensificou-se a utilização da estrutura pensada como esqueleto parcialmente independente das paredes. Este conceito arquitetônico no qual a função e o espaço arquitetônico tornaram-se livres das limitações de resistência surgiu com a utilização da madeira nas construções japonesas, árabes e góticas, dentre outras. Da mesma maneira os templos egípcios e gregos eram esqueletos pré-fabricados em pedra.

Com a evolução tecnológica, a tecnologia do aço e concreto desenvolveu-se com a necessidade de vencer grandes vãos e a de executar construções verticais, desencorajando o uso de alvenaria com função estrutural, cuja tecnologia permaneceu sob uma base empírica na concepção de projeto. Os novos materiais de então possibilitaram às edificações um grande arrojo de formas, respaldados por teorias racionais de cálculo (HENDRY *et al.*, 1997).

precedente na história. Os grandes avanços da ciência da construção civil coincidem com esta revolução tecnológica. A partir da revolução da indústria e das novas necessidades e escalas produtivas, iniciativas de elaboração de normas técnicas estabelecem padrões universais de forma a beneficiar a cooperação e o intercâmbio de produtos e serviços. Ocorre, ainda, o surgimento e a disseminação de diversas novas tecnologias que são incorporadas aos edifícios, principalmente na área de estruturas e nas instalações. Além das estruturas independentes de ferro e concreto que surgiram no século XIX e se difundiram no século XX, a energia e a luz elétrica, o elevador, o condicionamento termo-mecânico das edificações, a disseminação e o aprimoramento das redes de água e esgoto tratados são exemplos dessas tecnologias (FABRICIO & MELHADO, 2002).

A evolução tecnológica permitiu o uso de novos materiais e encontrou no concreto armado uma solução expressiva e racional, que como o ferro, revolucionária para a época e quase perfeita para a maioria dos problemas construtivos. O concreto foi empregado, inicialmente, através de sistemas reticulados de elementos planos como lajes, vigas, arcos e pilares.

Paralelamente ao desenvolvimento tecnológico, o movimento moderno da arquitetura, racional em suas raízes, encontra nos planos uma forma expressiva seja no fechamento de espaços delimitando formas ou nas soluções de cobertura. Métodos de cálculo sofisticados foram desenvolvidos permitindo a sua ampla utilização na construção civil. Atualmente qualquer forma e solução estrutural podem ser calculadas e analisadas através de métodos e modelos computacionais.

A exploração das formas, principalmente em estruturas de concreto armado, pode ser notada nos principais trabalhos de arquitetos como Frank Lloyd Wright, Le Corbusier, Mies van der Rohe, Oscar Niemeyer e Eduardo Torroja, dentre outros, como mostrado anteriormente.

Desde o movimento moderno, a maioria das formas em arquitetura foi baseada no uso de estruturas planares caracterizadas pela clareza racional o que deu ao plano uma força expressiva peculiar. As soluções planares são empregadas quase universalmente mesmo para situações onde essas não são as formas mais apropriadas. Provavelmente isso ocorre pela forma como o projeto é graficamente expresso e pela maneira como os edifícios são construídos, pela maneira como aprendemos e pelo fato que muitas formas inovadoras não podem ser facilmente representadas em documentos gráficos. É dada uma maior importância ao projeto do que à estrutura. Estruturas planares reticuladas permitem a simplificação progressiva de volumes de edifícios tridimensionais em planos bidimensionais subdivididos em

elementos estruturais unidimensionais que podem ser calculados e desenhados mais facilmente. Em termos de conceitos estruturais, é comum explorar o que já é conhecido, empregando maior tempo no estudo do que já tem sido estudado, ao invés de ponderar sobre problemas reais (SEVILLA, 1996).

Nota-se que a ciência da construção está embasada na análise e no estudo de estruturas planas. Estruturas antigas cujas formas arquitetônicas se apresentavam mais elaboradas, como as góticas por exemplo, que deveriam ser analisadas tridimensionalmente, geralmente não são detalhadas nem estudadas em cursos regulares oferecidos nas escolas de engenharia e arquitetura.

As mudanças que vêm ocorrendo na construção civil nos últimos anos têm levado as empresas que atuam na área da construção de edifícios a se conscientizarem da importância da integração entre as várias etapas do empreendimento, buscando soluções que as tornem mais competitivas. Dentre as estratégias adotadas, destacam-se a racionalização de métodos, processos e sistemas construtivos empregada com o objetivo de redução de custos, garantia de cumprimento de prazos de execução e melhoria da qualidade do produto final.

Segundo Fabrício & Melhado (2002), outras inovações nos materiais, componentes e equipamentos de construção como redes lógicas e serviços inteligentes, o concreto protendido e os tubos de PVC modificaram substancialmente o funcionamento e as exigências das edificações, revolucionando as obras e as possibilidades construtivas. A partir do século XX, arcos de concreto armado moldado baseados na curva de uma parábola têm sido empregados para vários tipos de estruturas.

Em estruturas reticuladas em concreto armado, o controle da qualidade é essencial na colocação das armaduras e na execução da concretagem, sendo a qualidade da execução da alvenaria negligenciada por não possuir função estrutural.

2.3 O processo construtivo em alvenaria estrutural

O processo construtivo em alvenaria estrutural, diferentemente de sistemas reticulados, utiliza as paredes simultaneamente como elementos de vedação e resistentes às cargas verticais de lajes, de ocupação e de peso próprio, aos esforços laterais, como ação do vento sobre a edificação e aos desvios de prumo, dentre outros. Na concepção do projeto, as paredes definidas como estruturais atuam como painéis laminares que distribuem as cargas e transferem-nas para a fundação. É um sistema que pode ser caracterizado pela divisão em subsistemas: estrutura, vedação, instalações, esquadrias, pré-moldados e revestimentos.

Uma das grandes vantagens da alvenaria estrutural em relação aos sistemas construtivos em concreto armado ou aço é a possibilidade de utilizar o mesmo elemento para desempenhar diversas funções, provendo ao mesmo tempo estrutura, divisão de espaços, isolamento térmico e acústico, proteção contra as intempéries e resistência ao fogo (HENDRY *et al.*, 1997). Outra vantagem é o método construtivo simplificado pela colocação de bloco sobre bloco unidos por argamassa, técnica utilizada desde os primórdios da civilização.

Um grande marco para o desenvolvimento da alvenaria estrutural foi a utilização de uma nova forma de dimensionamento para a construção de um prédio de apartamentos de 13 pavimentos, na Suíça, em 1951. A estabilidade sob a ação de cargas laterais foi obtida pela consideração de paredes de contraventamento (*shear walls*), permitindo uma redução das dimensões e conseqüentemente de custos. Este fato levou ao desenvolvimento de pesquisas visando estabelecer maior acuidade para os efeitos das cargas de vento, da excentricidade de carregamento, da interação unidade e argamassa e outros fatores no comportamento deste tipo de estrutura (HENDRY & SINHA, 1971; SINHA & HENDRY, 1976; HENDRY, 1998).

Normas de cálculo do Reino Unido e de outros países foram implementadas incorporando os resultados destas pesquisas. Destacam-se a definição do modo de distribuição das forças de vento nas paredes, o uso de cargas verticais de paredes e lajes para aumento da resistência ao cisalhamento das paredes de contraventamento, a resistência à flexão dos painéis de fachada e a determinação de procedimentos para evitar o colapso progressivo da alvenaria.

Os resultados das pesquisas levaram ao desenvolvimento de vários trabalhos com o objetivo de melhorar as características físicas e mecânicas dos materiais de alvenaria, blocos e argamassa, visando a otimização do desempenho das estruturas em alvenaria. Dentre os resultados esperados busca-se estabelecer as características necessárias à resistência à compressão, à absorção de água, à taxa de sucção inicial, à durabilidade e à resistência ao fogo das unidades. Para as argamassas procura-se otimizar a trabalhabilidade, a retentividade de água, o tempo de endurecimento, a durabilidade e a resistência à compressão. Os dados obtidos permitiram a elaboração de normas técnicas para o projeto estrutural e possibilitaram o resgate da utilização da alvenaria com função estrutural.

A alvenaria estrutural começou a ser utilizada em grande escala no Brasil no início dos anos 70, com a construção de edifícios habitacionais, principalmente em São Paulo. Ainda nesta década, construtores de grande porte desta cidade iniciaram um projeto para o desenvolvimento deste sistema. Através de convênios com centros de pesquisa

de algumas universidades e com consultores multidisciplinares, fizeram parte integrante do projeto a avaliação de procedimentos para o projeto estrutural, a criação de uma metodologia para a formação e treinamento de equipes de produção, a melhoria do ambiente de trabalho e a gestão de projetos compatibilizados. O desenvolvimento deste projeto e a contribuição de empresas pioneiras na adoção da alvenaria estrutural foram responsáveis por mudanças significativas para o processo construtivo.

No início dos anos 80 um prédio de 18 pavimentos em alvenaria estrutural armada foi construído em Belo Horizonte sendo este, até então, o edifício mais alto no país executado neste sistema construtivo, utilizando blocos de concreto aparente. À medida que o sistema desenvolveu-se, métodos de cálculo, especificações para materiais e procedimentos para ensaios foram normalizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Atualmente, o edifício mais alto em alvenaria estrutural, construído em São Paulo, possui 23 pavimentos.

A Figura 2.27 mostra alguns edifícios residenciais de múltiplos andares, construídos no estado de São Paulo, que utilizaram propostas de racionalização do sistema construtivo em alvenaria estrutural.



Figura 2.27 – Exemplos de obras em alvenaria estrutural, em São Paulo: racionalização construtiva (ABCP, 2003).

Apesar do desenvolvimento das técnicas de projeto e de processo construtivo da alvenaria estrutural observa-se que, no Brasil, os procedimentos utilizados ainda são semelhantes aos empregados em edifícios convencionais em concreto armado. As ações direcionadas para o planejamento prévio são incipientes e o desperdício de materiais e mão de obra ainda é grande. Desta forma, as vantagens do sistema baseadas na otimização do processo através da racionalização de procedimentos não ocorrem em toda a potencialidade.

Os trabalhos desenvolvidos nas linhas de processos construtivos objetivam racionalizar o uso da alvenaria estrutural com o conseqüente aumento da qualidade. Observa-se ainda o desenvolvimento de pesquisas que propõem o uso da tecnologia de alvenaria estrutural na execução de alvenaria convencional. Pode-se citar os trabalhos de Franco *et al.* 1991; Franco, 1992; Mutti, 1995 e Araújo, 1995 como precursores desta linha de pesquisa.

A racionalização apresenta uma série de vantagens com relação à industrialização, permitindo às empresas a minimização de custos e prazos de produção e ganhos de produtividade. É possível reduzir desperdícios de tempo e de materiais, atacando pontos de estrangulamento, herança da construção convencional. Dentre eles destacam-se a desarticulação entre os diversos projetos e entre projeto e obra, ausência de controle da qualidade, más condições de trabalho como fator de baixa produtividade e desorganização do canteiro (FARAH, 1988).

A adoção de um controle rígido de qualidade em todos os procedimentos construtivos deve ser feita através de um conjunto de medidas que permitirão o uso da alvenaria estrutural com eficiência e economia: racionalização do projeto arquitetônico, racionalização dos projetos complementares, planejamento efetivo da obra através da interação projeto-execução, uso de materiais adequados, treinamento de mão de obra e controle da qualidade dos materiais e da execução.

O trabalho coordenado entre os diversos profissionais que atuam inicialmente na fase de projetos propicia um aumento das potencialidades do sistema construtivo em alvenaria estrutural. A utilização de medidas racionalizadas no projeto possibilita um melhor aproveitamento da resistência das paredes e eventuais transições pela coordenação entre arquitetura, estrutura e execução e melhora o comportamento estrutural. Possibilitam ainda soluções alternativas de projeto em alvenaria e a eliminação de grauteamento e armaduras, presentes em projetos convencionais de alvenaria, inclusive para edifícios com altura em torno de quatro a cinco pavimentos. Além disso, permitem soluções racionalizadas para instalações prediais, esquadrias e revestimento pela aplicação de coordenação dimensional e diminui a probabilidade de

ocorrência de patologias, reduzindo, ainda, o desperdício de materiais e de mão de obra (FRANCO, 1996; GEHBAUER *et al.*, 2002).

No processo de produção de edificações em alvenaria estrutural, a etapa de execução é uma fase crítica para obtenção de resultados, sendo nela aplicados maiores investimentos em recursos humanos e materiais. Medidas de racionalidade construtivas devem ser empregadas visando à organização produtiva. Dentre elas destacam-se a criação de uma infraestrutura básica para o canteiro de obras, a definição e padronização de métodos e técnicas de produção, a elaboração do planejamento e programação para execução das atividades e a elaboração de um controle da qualidade da produção baseada em procedimentos padronizados. Além dessas, o treinamento e a motivação dos operários envolvidos na execução torna-se essencial para a implementação da racionalização (FRANCO, 1996; GEHBAUER *et al.*, 2002).

O processo estipula, para a fase de execução, os tipos de equipamentos a serem utilizados, a forma de colocação dos componentes, os cuidados construtivos para obtenção da qualidade desejada e a forma de controle da qualidade dos materiais e da construção.

Vários procedimentos construtivos em obras de alvenaria estrutural foram adotados buscando o aumento da produtividade. Esses procedimentos traduzem-se em modificações que incorporam princípios de simplificação e organização. O emprego de equipamentos especiais para o assentamento da alvenaria, o uso de pré-moldados leves visando a simplificação dos serviços e a modificação da seqüência de procedimentos evitando interferências de outros serviços com a execução da alvenaria, bem como desperdícios e quebras são alguns exemplos desses procedimentos.

2.3.1 Procedimentos e requerimentos do projeto arquitetônico

A interação entre a concepção do projeto arquitetônico e o projeto completo em alvenaria estrutural é essencial para se conseguir uma melhor construtibilidade, com um processo construtivo mais racional, levando, conseqüentemente, a melhores soluções técnicas. O processo de projeto arquitetônico, na fase de concepção, deve atender às recomendações de normas técnicas e de modo a assegurar melhores condições em termos de modulação, racionalização, simplicidade de execução e redução de custos, evitando possíveis patologias.

A concepção arquitetônica deve ser apropriada para o sistema construtivo. Isso significa que em um projeto de uma edificação de vários pavimentos, o *layout* das paredes não pode ser pensado como um substituto para um projeto estrutural reticulado. Desta forma, paredes portantes requerem uma concepção de projeto diferente daquela apropriada para estruturas reticuladas em aço ou em concreto armado.

Quando considerarmos o aspecto formal e simbólico da arquitetura, o projeto deve focar aspectos como coordenação dimensional das unidades de alvenaria e coordenação modular, tirando partido da potencialidade dimensional e estética dos elementos e componentes construtivos. A natureza modular da alvenaria proporciona beleza e flexibilidade (CARVALHO *et al.*, 2001).

O projeto arquitetônico deve expressar claramente o processo construtivo através de detalhamento e especificações. A concepção, o projeto preliminar, o projeto definitivo e o detalhamento devem considerar também aspectos relacionados ao ciclo de vida da edificação. Para isso, é necessário haver o conhecimento das propriedades essenciais dos materiais e das características estruturais da alvenaria.

A análise simultânea de parâmetros e requerimentos arquitetônicos, estruturais, de instalações prediais, custos e propriedades dos materiais é feita através da avaliação das necessidades arquitetônicas, subdivisão de espaços, expressão formal, isolamento térmico, acústico e resistência ao fogo, características físicas e mecânicas dos materiais e as necessidades do sistema estrutural.

O principal método para melhorar a construtibilidade é a simplificação do projeto, que pode ser conseguida através de procedimentos como utilização de coordenação modular, redução do número de elementos componentes e peças diferentes, especificação de materiais de fácil estoque e manuseio, utilização de materiais e componentes que não requeiram mão de obra altamente especializada, e cuidado especial no detalhamento de conexões entre componentes e elementos construtivos (FRANCO, 1996; GEHBAUER *et al.*, 2002).

A coordenação modular é a base do sistema de coordenação dimensional usada para edificações em alvenaria estrutural. O projeto deve considerar características como a disponibilidade de materiais, o arranjo e a distribuição das paredes, a forma e a função das paredes, a possibilidade de remoção das mesmas, a transição de estruturas, o número de pavimentos que define a modulação vertical e o uso de *shafts* (CARVALHO *et al.*, 2001).

Visando buscar a interação entre as atividades de projeto, alguns desses requerimentos podem ser considerados para exemplificar as complexidades no processo de projeto arquitetônico, como ilustra a Figura 2.28.

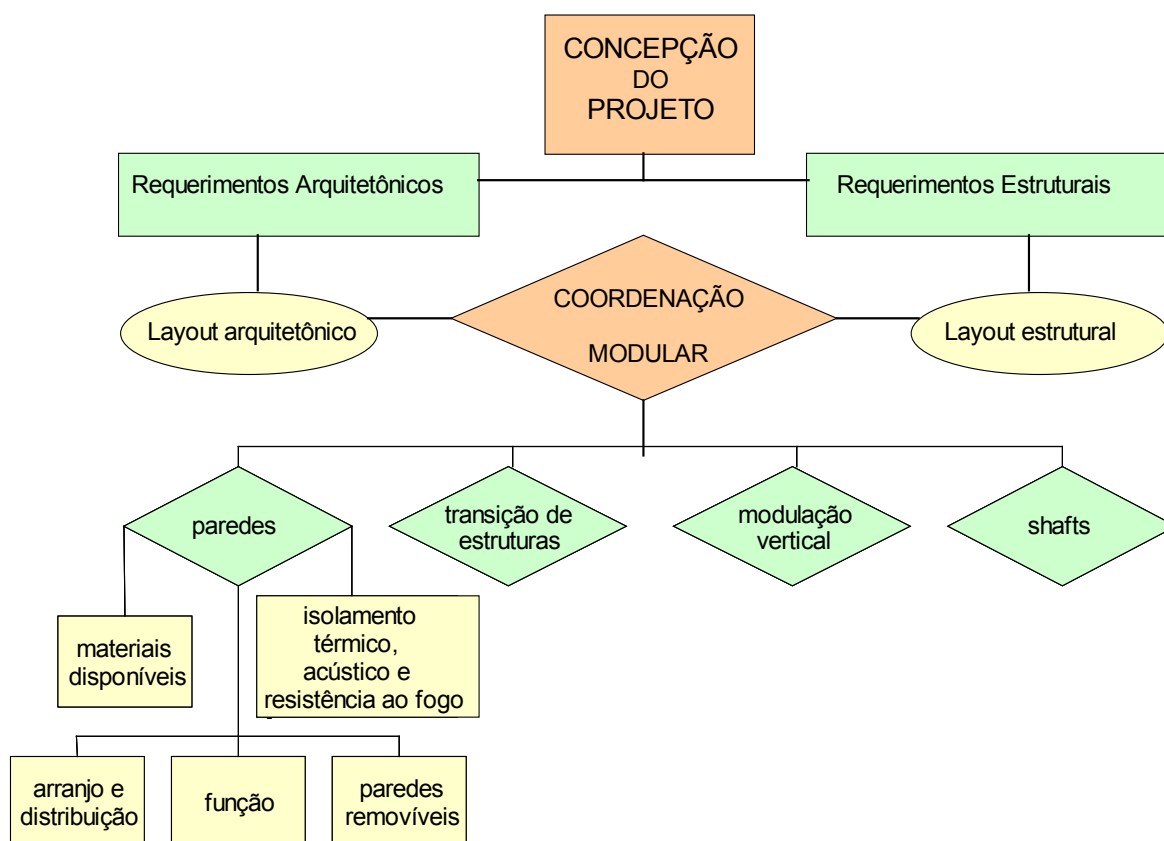


Figura 2.28 - Requerimentos do projeto arquitetônico: algumas complexidades do processo (CARVALHO *et al.*, 2003 b).

O planejamento modular permite a coordenação dimensional de vários componentes construtivos a serem utilizados, a simplicidade na execução e redução de custos. A definição cuidadosa da utilização dos componentes elimina cortes e facilita a colocação dos mesmos, operações que diminuem o ritmo da construção. Permite ainda o controle da espessura das juntas.

A distribuição de paredes portantes na planta da edificação é essencial para assegurar a distribuição dos carregamentos. Este procedimento permite o uso das mesmas unidades indicando o reforço através de graute, quando necessário. A especificação de diferentes traços para a argamassa não é recomendada.

A efetiva distribuição de paredes estruturais em todas as direções assegura a estabilidade em relação aos carregamentos laterais. A simetria na planta é importante

para evitar torção como consequência da excentricidade causada pela não coincidência do centro de torção e do centro de gravidade. Paredes sem função estrutural devem ser definidas de acordo com os requerimentos arquitetônicos garantindo a flexibilidade do projeto.

O uso de estruturas de transição nos pavimentos mais baixos, para garagem por exemplo, e o número de pavimentos são decisões importantes que afetam o sistema construtivo, o projeto estrutural e a concepção arquitetônica. Soluções para as instalações prediais, como o uso de *shafts*, devem ser adotadas para assegurar a construtibilidade efetiva e a manutenção (CARVALHO *et al.*, 2003 b).

Arranjos arquitetônicos, flexibilidade funcional, função estrutural das paredes, coordenação dimensional e modular, racionalização de projetos e da produção, aspectos de segurança e confiabilidade do sistema em alvenaria estrutural dependem destes aspectos anteriormente discutido, os quais definem, de um modo amplo, a qualidade do empreendimento.

2.3.2 Arranjos estruturais

As soluções técnicas apropriadas devem ser identificadas na fase de projetos na qual deve ser equacionada a forma de interação entre os requerimentos funcionais e arquitetônicos e os decorrentes do comportamento estrutural.

Edifícios em alvenaria estrutural, em geral, podem ser classificados como sistemas laminares constituídos por lajes e paredes estruturais. As lajes recebem as forças laterais que atuam sobre a fachada e redistribuem-nas para as paredes estruturais. As paredes devem ser rígidas e resistentes para absorver os esforços transmitidos pelo diafragma. O efeito do vento deve ser considerado na avaliação da estabilidade global de edifícios altos e da resistência de painéis isolados (SANTOS, 2001).

Para que um equilíbrio entre os requerimentos funcionais do projeto arquitetônico e o comportamento estrutural seja obtido, alguns princípios básicos de projeto estrutural devem ser considerados. Em termos de arranjos de paredes, a construção autoportante é mais apropriada quando empregada em edifícios comerciais, residenciais, hotéis e hospitais. Isso é definido pela característica de plantas repetitivas e subdivididas em um número relativamente grande de espaços pequenos e médios. Desta forma, paredes portantes da fundação ao último piso não recebem esforços verticais concentrados. Recomendações como distribuição de paredes portantes orientadas nas direções perpendiculares às fachadas do edifício com maior

exposição ao vento e simetria de planta, onde o centro de massa e de torção da seção, em planta, são coincidentes, constituem arranjos mais adequados para suportar os esforços laterais (HENDRY, 1998).

Os arranjos das paredes em alvenaria devem considerar que, embora seja característica do sistema a utilização de paredes portantes, não há necessidade de que todas elas sejam estruturais. Este fato deve ser levado em conta, principalmente em função dos condicionantes do projeto arquitetônico, permitindo a flexibilidade de uso, com remoção de paredes quando permitido e indicado.

Apesar do uso difundido da alvenaria estrutural e da grande variedade de possíveis arranjos de parede, uma classificação convencional pode ser feita de acordo com a Figura 2.29.

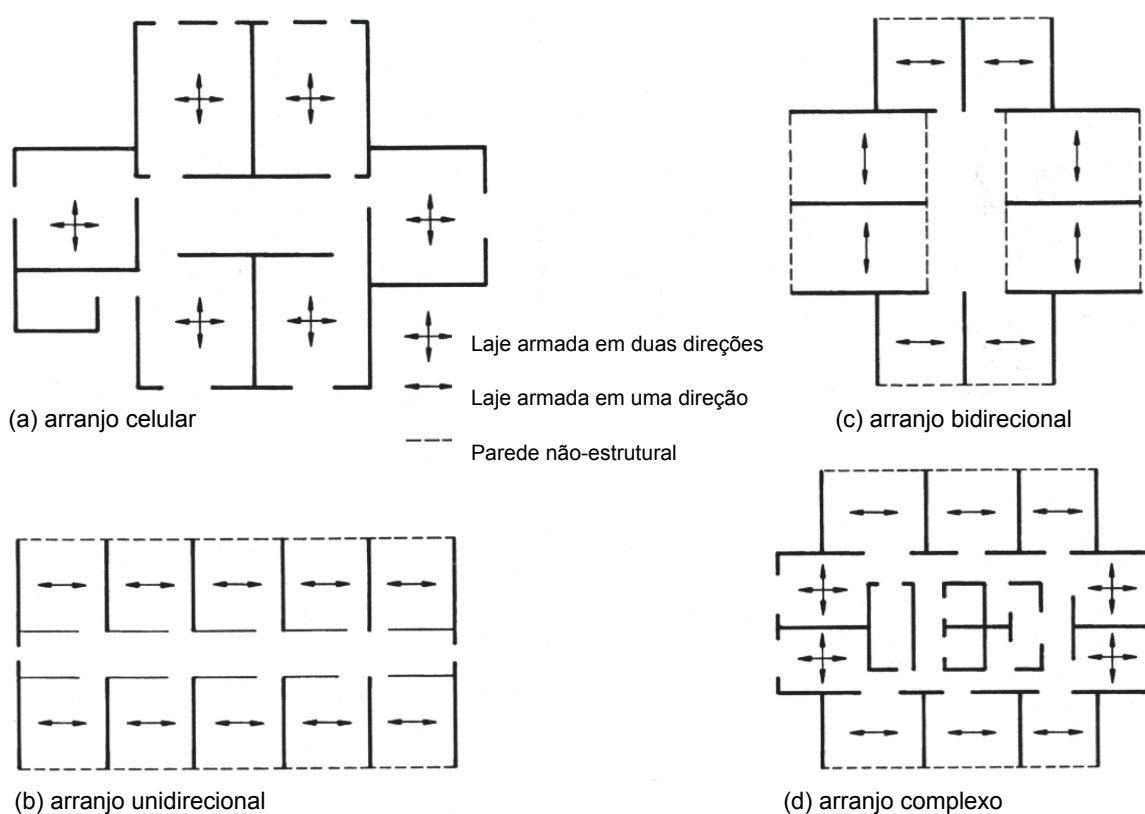


Figura 2.29 - Arranjos típicos em alvenaria estrutural (HENDRY *et al.*, 1997).

Com arranjos classificados como complexos, utilizando paredes portantes orientadas nas principais direções do edifício, inclusive na diagonal, é possível executar obras consideradas altas em alvenaria estrutural. A Figura 2.30 mostra um *layout* de paredes para obras executadas em São Paulo utilizando blocos de concreto de resistência relativamente baixa, como por exemplo, f_{bk} de 12 MPa para 14 pavimentos e f_{bk} de 15 MPa para 19 pavimentos (ABCP, 2003).

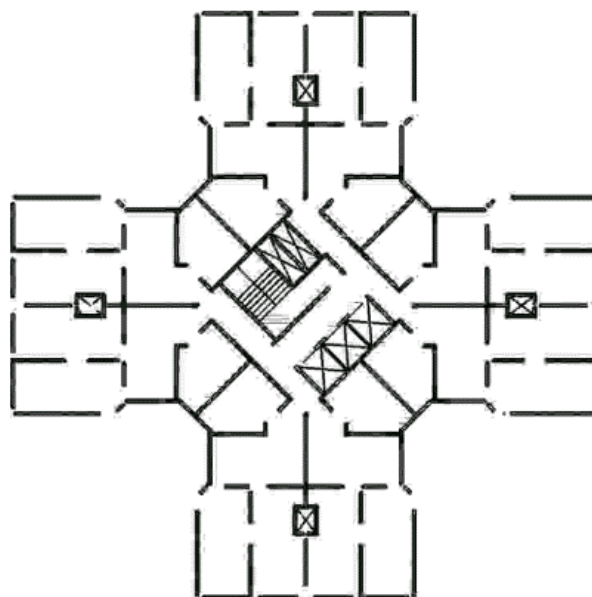


Figura 2.30 – Exemplo de arranjo complexo de paredes (ABCP, 2003).

Entre os fatores que afetam a resistência das paredes em alvenaria estrutural podem ser ressaltados alguns relacionados com a qualidade da execução e da mão de obra. Dentre os trabalhos mais recentes, são estudados o comportamento da alvenaria relativo a aspectos como o preenchimento e espessura da junta, utilização de pré-moldados, painéis de alvenaria e excentricidade de carregamento (CAPOZUCCA; CORREA & RAMALHO; FRANCO & PARSEKIAN; SANTOS & SINHA, 2002; KORANI *et al.*; MAUREMBRECHER *et al.*; ROBERTS, 2001; LOMBARDO, 2003; NASCIMENTO NETO, 1999).

A interação entre as concepções arquitetônica e estrutural, o conhecimento das características físicas e mecânicas dos materiais e do processo construtivo permitem a melhor eficiência em construções de alvenaria estrutural. Entretanto, é notória a falta de uma melhor utilização da alvenaria estrutural em termos de aproveitamento de toda a potencialidade do sistema, ressaltando-se o fato de que a eficiência dos aspectos técnicos, econômicos, sociais e culturais não assegura a eficiência estética da construção (PEDRESCHI; SAMARASINGHE & SANKARAN, 2002).

O emprego da alvenaria com blocos estruturais tem sido limitado e repetitivo no que se refere ao aspecto formal da arquitetura e de tipologias utilizadas. De acordo com Samarasinghe & Sankaran (2002), a alvenaria estrutural vem sofrendo, de várias maneiras, pelo fato de ser um material negligenciado com muitos métodos e procedimentos empíricos para a construção de paredes, resultando em desempenhos estruturais, funcionais e compositivos de baixa qualidade. Neste sentido, Pedreschi (2002) alerta que, a não ser que formas estruturais inovadoras possam oferecer outros benefícios ou vantagens do que os sistemas estruturais existentes, as estruturas em alvenaria não irão se desenvolver.

Estruturas inovadoras em alvenaria com sistemas laminares em cascas desenvolveram-se, inicialmente, com base nos princípios de cálculo utilizados para o concreto armado. Um dos aspectos que parece ter desmotivado a adoção em grande escala dessas soluções é o fato de que, embasada nesses princípios de cálculo, a grande espessura das cascas e placas tende a inviabilizar a construção em alvenaria armada, principalmente no que se refere ao custo. Atualmente o desafio é o de conciliar custo com a simplificação construtiva. Aponta-se essa como uma das razões para o retorno do uso de abóbadas, arcos e estruturas angulares, inicialmente em concreto armado e posteriormente em alvenaria estrutural (SEVILLA, 1996).

A metodologia empregada por Eladio Dieste para a criação de novas formas, mais elaboradas e oferecendo soluções lógicas, econômicas e estáveis para as estruturas, sem reprodução dos modelos clássicos, requer a compreensão do processo de produção das edificações, envolvendo o processo de projeto arquitetônico, os aspectos estruturais, as propriedades dos materiais e o processo construtivo.

Esta opção por formas inovadoras com utilização da alvenaria estrutural e que contribuiu para a criação de uma nova arquitetura com caráter social, de valorização cultural e de racionalização de custos aliada aos valores estéticos e compositivos é analisada e discutida no próximo capítulo deste trabalho.

Metodologia

3.1 Metodologia empregada

Dieste, ao longo de 50 anos, produziu uma arquitetura inovadora com tecnologia construtiva própria, que vem despertando o interesse e a atenção de pesquisadores em diversos países (CATALUNYA, 1999; COMAS; LARRAMBERE, 2001; ELADIO DIESTE, 1997; EXPOSICIÓN...; SEVILLA, 1996; PEDRESCHI, 2000; RAMAN; SARRABLO *et al.*; THEODOSSOPOULOS & SINHA; PEDRESCHI, 2002). No entanto, estes estudos não aprofundam na análise da interação entre os processos de projeto arquitetônico e de projeto estrutural e o processo construtivo, nem em como esse conhecimento pode ser mais amplamente divulgado e utilizado.

A metodologia empregada para o levantamento de dados, o estudo, a compreensão, a análise e a sistematização do trabalho desenvolvido por Eladio Dieste no Uruguai, na segunda metade do século passado, buscando alcançar os objetivos propostos neste trabalho, seguiu as seguintes etapas:

1. Revisão bibliográfica em processo de projeto com ênfase em métodos e processos inovadores na arquitetura;
2. Revisão bibliográfica em processos construtivos com ênfase nas interações entre arquitetura e estrutura;
3. Revisão bibliográfica em alvenaria estrutural com ênfase em procedimentos e requerimentos de projeto arquitetônico;
4. Visita ao escritório *Dieste y Montañez*, no Uruguai, e a algumas das obras por eles projetadas e construídas;
5. Entrevista a profissionais da área de engenharia e arquitetura que trabalharam com Dieste;

6. Estudo da proposta arquitetônica de Eladio Dieste a partir da identificação e análise dos aspectos relevantes;
7. Análise da tecnologia construtiva desenvolvida e empregada por Eladio Dieste;
8. Sistematização da proposta construtiva de Eladio Dieste.

3.2 Desenvolvimento do trabalho

Para o desenvolvimento do trabalho foram realizadas etapas distintas de estudo da literatura, de pesquisa de campo e de documentação das obras e projetos e de discussão e sistematização da tecnologia construtiva de Dieste que são descritas a seguir.

3.2.1 Estudo da literatura

Na primeira etapa deste trabalho foi feita uma investigação inicial da obra de Dieste. Buscaram-se informações em toda a literatura nacional e internacional, textos escritos pelo próprio Dieste, artigos publicados em revistas de teor arquitetônico, artigos técnicos e livros que fazem uma compilação de suas obras e de seus textos.

Delimitou-se como escopo deste trabalho a interação entre a concepção arquitetônica e o sistema estrutural nas obras em alvenaria estrutural de Eladio Dieste, com ênfase na inovação nos processos de projeto arquitetônico e de construção.

Na fase de revisão bibliográfica procurou-se:

1. Identificar o processo de projeto arquitetônico considerando a composição e a geração da forma arquitetônica, os métodos de composição e idéias formativas, o caráter individual e a qualidade na atividade de projeto. Foram eleitos para análise trabalhos de alguns profissionais da área de arquitetura consagrados pela literatura, enfocando as soluções inovadoras do ponto de vista formal e de exploração das potencialidades de sistemas construtivos;

2. Identificar a evolução dos processos construtivos considerando estrutura e solução formal e sistemas reticulares e laminares, contextualizando o perfil da construção civil no Brasil;
3. Identificar a evolução dos procedimentos e requerimentos adotados para o sistema construtivo em alvenaria estrutural de uma maneira global, enfocando os aspectos de projeto arquitetônico e os aspectos construtivos, dentre os quais a racionalização, a produtividade, a qualidade e os princípios básicos de arranjos estruturais;
4. Identificar as tendências construtivas em alvenaria estrutural nas construções no Brasil.

3.2.2 Pesquisa de campo e documentação das obras

Numa segunda fase, para o levantamento de dados mais específicos e entendimento da metodologia construtiva desenvolvida por Dieste, caracterizou-se a necessidade de uma visita à empresa *Dieste y Montañez*, em Montevideu. Nesta pesquisa foram considerados aspectos técnicos e econômicos, mas também estéticos, sociais e históricos como justificativas para o uso criativo e inovador da alvenaria em cerâmica como sistema construtivo estrutural. As seguintes etapas foram desenvolvidas:

1. Contatos para viabilização e programação de visita;
2. Pesquisa *in loco* da produção de Eladio Dieste referente a desenvolvimento de projetos e de metodologias construtivas com base em livros, revistas, rascunhos, anotações, croquis, projetos, fotos etc.;
3. Entrevistas com profissionais que trabalharam com Dieste. Foram entrevistados aqueles que tiveram a oportunidade de colaborar com Eladio Dieste, desenvolvendo projetos arquitetônicos como os arquitetos Alberto Castro e Esteban Dieste, que estão atualmente desligados da empresa. Nas áreas de cálculo e acompanhamento de obras foram entrevistados o engenheiro Gonzalo Larrambebere e o técnico Walter Vilche, e na área administrativa, o gerente geral da empresa Eduardo Dieste, que continuam atuantes na *Dieste y Montañez*. Nessas entrevistas foram elucidados os

aspectos referentes ao processo de projetos arquitetônico e ao processo construtivo, bem como as interações entre eles. Dentre os aspectos levantados podem ser enumerados: concepção arquitetônica, metodologia de desenvolvimento para composição da forma, influência de propósitos históricos, sociais e culturais, funcionalidade, definição de tipologias, coordenação de projetos, materiais, desenvolvimento de métodos de cálculo e de técnicas construtivas, estratégias de trabalho, possibilidades econômicas e técnicas, seguidores da obra de Dieste, dentre outros;

4. Visitas às obras executadas em Montevideu e arredores para levantamento fotográfico.

As obras visitadas foram selecionadas a partir das entrevistas realizadas e da análise inicial de todo material levantado e disponibilizado pelo escritório da empresa. Foram consideradas aquelas que são representativas sob os enfoques arquitetônico, estrutural e construtivo, relacionadas a seguir:

Em Montevideu:

- a) Depósito *Julio Herrera y Obes* da Administração Nacional de Portos (projeto de 1978 e término da construção em 1979);
- b) *Montevideo Shopping* (projeto de 1984 e término da construção em 1986);
- c) Casa de Dieste (projeto de 1961 e término da construção em 1964);
- d) Igreja de Nossa Senhora de Lourdes, em Malvin - Casa Paroquial e torre inacabada (projeto de 1961);
- e) Diversas obras de menor porte, cuja maioria sofreu modificações e adaptações após a construção, tais como ginásios de esporte, lojas, depósitos, supermercados e torres de água;

Em Atlantida:

Igreja do *Cristo Obrero* (projeto de 1958 e término da construção em 1960);

Em Durazno:

Igreja de *San Pedro* (projeto de 1967 e término da construção em 1971).

Dentre o vasto material levantado tanto no escritório como nas obras e nas entrevistas, foram selecionados os escritos, projetos, croquis e fotografias que pudessem acrescentar novos aspectos às obras conhecidas, visando atender aos objetivos propostos neste trabalho.

3.2.3 Discussão e sistematização da obra de Eladio Dieste

Na última fase deste trabalho buscou-se discussão e análise detalhadas da documentação do trabalho de Dieste, com ênfase em determinadas obras ordenadas como tentativa de revelar certos princípios, propostas teóricas e técnicas utilizadas. Procurou-se uma aplicação mais ampla no contexto da alvenaria estrutural para alcançar uma maior inserção deste processo construtivo no mercado da Construção Civil.

Para alcançar os objetivos propostos foram desenvolvidas as seguintes etapas:

1. Discussão da proposta arquitetônica de Dieste, enfatizando o caráter individual da sua formação e os aspectos arquitetônicos relevantes de uma maneira geral e, especialmente, nas obras das Igrejas de Atlantida e de Durazno pela complexidade de detalhes. Foram identificados os princípios básicos definidos pelo processo de projeto arquitetônico, analisando as relações funcionais dentre os propósitos imediatos, históricos, sociais, econômicos e individuais; e as relações morfológicas de ordem topológica e geométrica. Os métodos utilizados no processo de criação da forma focando a idéia formativa na interpretação e na adaptação de precedentes; a análise da forma arquitetônica e das tipologias construtivas a partir dos princípios analíticos e dos aspectos da forma, as idéias formativas, bem como as características de material, textura e iluminação, foram considerados. Ressaltou-se o fato da interferência da proposta arquitetônica na participação social dos usuários de suas obras e da releitura de espaços físicos;
2. Discussão e análise da linguagem construtiva desenvolvida por Eladio Dieste caracterizada pela superfície formal das estruturas e embasada em teoria estrutural e métodos construtivos contemporâneos. Foram enfatizados os aspectos relativos ao material cerâmico, às tipologias e às respectivas características do sistema estrutural e do processo de execução que

configuram seus projetos e construções como inovadores. Destacou-se o desenvolvimento de uma nova tecnologia construtiva a partir da tradição de se construir com tijolos cerâmicos, um processo construtivo consagrado no Uruguai. Foram analisadas as potencialidades dos métodos construtivos e das tipologias empregadas, com ênfase para os aspectos arquitetônicos e estruturais. As obras das Igrejas de Atlantida e de Durazno foram enfocadas por sua complexidade de detalhes estruturais e de execução;

3. Elaboração de uma sistematização para aplicação da tecnologia construtiva desenvolvida por Eladio Dieste através de procedimentos e requerimentos para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos e para a execução de obras em alvenaria estrutural;
4. Discussão da aplicabilidade destes métodos a partir de um paralelo com os métodos construtivos análogos utilizados no Brasil, considerando potencialidades locais, mão de obra, materiais e equipamentos disponíveis e técnicas racionalizadas, dentre outros aspectos;
5. Apresentação conclusiva dos avanços arquitetônicos e construtivos alcançados nas construções de Eladio Dieste.

A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

Considerações iniciais

As análises arquitetônicas, em geral, baseiam-se nos aspectos formais, estéticos e funcionais das obras para explicar os avanços das tendências de determinado arquiteto ou movimento, focando o aspecto filosófico da intenção artística nas obras de arquitetura. Consideramos que, para propor objetos arquitetônicos, é imprescindível a consciência de uma realidade histórica, cultural e social. Desta forma, é possível o desenvolvimento de uma criatividade crítica e construtiva, que leve em conta a realidade circundante e imediata da sociedade que demanda uma obra expressa através de um projeto de arquitetura.

O objetivo deste capítulo é analisar os antecedentes arquitetônicos buscando o entendimento da influência dos aspectos estéticos, técnicos, sociais e culturais na concepção das obras de Eladio Dieste. São utilizados os métodos de composição e de manipulação da forma em arquitetura e os de desenvolvimento do processo de projeto arquitetônico, a fim de mostrar como os vários elementos se relacionam entre si e com os condicionantes de projeto. A análise ressalta certos aspectos subjacentes da organização de idéias, procurando desvendar as relações entre o tema de uma obra e sua solução arquitetônica.

Conforme discutido anteriormente, o processo de projeto parte da organização das informações em busca da solução de um problema por um processo seletivo, que envolve a passagem de um plano analítico e objetivo para um plano subjetivo. Procura-se demonstrar que as soluções inovadoras do ponto de vista formal e de exploração do sistema construtivo são resultado da interferência de um profissional capaz de expressar sua capacidade técnica e compositiva através da construção de espaços que aumentam e ampliam a qualidade de vida do usuário. Trata-se de uma arquitetura que resgata os princípios teóricos para oferecer soluções apropriadas em termos de utilização da técnica local conhecida, dos materiais e dos recursos disponíveis, da valorização estética e compositiva e da sensibilidade do ser humano.

As obras de Dieste apresentadas e discutidas neste trabalho foram escolhidas por serem consideradas representativas sob o enfoque da arquitetura e de tipologias

construtivas. O repertório tipológico caracteriza-se pela vinculação de cada tipo a uma definição histórica pelas condições de tempo e lugar. Dieste utiliza o conhecimento acumulado para criar uma arquitetura relevante e autêntica através da aplicação do conceito de tipo tanto ao estudo quanto ao uso da história da arquitetura como material de projeto. O tipo não representa a imagem a ser copiada ou imitada, mas um princípio que pode reger a criação de vários objetos totalmente diferentes.

Dentre as tipologias desenvolvidas por Dieste destacam-se as superfícies regradas e as superfícies em planos, as abóbadas gaussianas ou de curvatura dupla e as abóbadas autoportantes. As características e os princípios básicos formais bem como o comportamento estrutural, a tecnologia e as etapas construtivas de cada tipologia serão discutidos no Capítulo 5 deste trabalho. Neste Capítulo são analisados os detalhes relacionados à arquitetura de algumas obras, com destaque para as Igrejas de Atlantida e Durazno pela importância e complexidade de detalhes.

A Igreja do *Cristo Obrero*, em Atlantida, obra finalizada em 1960, é o primeiro trabalho de Dieste que pode ser considerado uma obra de arquitetura. As obras executadas anteriormente tinham a intenção de cobrir e fechar espaços, sem um propósito arquitetônico prévio definido entre a forma e o uso. A concepção de arquitetura mostra-se presente nos espaços gerados pelas soluções e formas estruturais desta igreja, constituídos pelas paredes regradas e cobertura em abóbadas de curvatura dupla, sendo marcados a liturgia e o sentido religioso. Por isso esta obra conhecida como a Igreja de Atlantida é tão representativa dentre outras de Dieste. A partir deste trabalho foi marcante o seu interesse pelos aspectos gerais da arquitetura nas soluções de seus projetos.

A Igreja de *San Pedro* em Durazno, construída em 1971, enquadra-se na tipologia denominada estrutura em planos, na qual as paredes laterais e as do presbitério são construídas em planos ascendentes. Criam um espaço calmo e dinâmico uma vez que a sensação de dimensão visual apresenta-se maior do que a real. Após a transposição da fachada original, que foi mantida, percebe-se uma arquitetura moderna realizada com novas técnicas e propostas arquitetônica e estrutural revolucionárias.

Este estudo pretende analisar uma proposta arquitetônica como resposta à necessidade da demanda de uma população. Fica evidenciado que as potencialidades locais e a história de vida pessoal na qual se insere o profissional Dieste o influenciaram a assumir uma posição arquitetônica crítica frente a essa realidade concreta, incorporando-as ao processo de projeto em arquitetura. Desta forma, o próximo item discute aspectos relevantes da vida profissional de Dieste.

4.1 A formação de Eladio Dieste Saint Martin

O contexto histórico, social e cultural é importante para compreender a posição arquitetônica e construtiva das propostas de Eladio Dieste, cujo trabalho é influenciado pela realidade social e histórica na qual sua proposta arquitetônica se desenvolve.

As idéias propostas por Dieste, em meados do século passado, começam a ser reconhecidas como uma filosofia construtiva em diversos países. Elas expressam as circunstâncias particulares do Uruguai, um país em desenvolvimento, colonizado pela Espanha, cuja maior parte de sua população é, além de espanhola, de origem italiana. Por ser um país de geografia plana e terras férteis, com poucos recursos minerais e sofrendo de uma falta de recursos naturais, se comparado aos demais países da América Latina, o Uruguai foi levado a encontrar alternativas próprias ao desenvolvimento baseadas basicamente na agricultura e na agropecuária. Importante ressaltar que, àquela época, as tecnologias importadas e o uso do aço e do concreto eram considerados desnecessários e de alto custo em obras de médio e pequeno porte na Região do Rio da Prata.

A capital do Uruguai, Montevidéu, é a única cidade de maior porte do país e concentra em torno de 50% da população total, que gira em torno de 3 milhões de habitantes. Teve seu desenvolvimento acelerado na primeira metade do século passado, com os investimentos provindos da agricultura utilizados na construção de praças, monumentos e edifícios no estilo *Art Décor*. Nesse período houve um grande contingente de imigrantes predominantemente europeus, basicamente espanhóis e judeus refugiados da guerra. Essa população formou uma geração de críticos literários, de arte e de cinema, dotando o país de uma capacidade cultural e intelectual. O Uruguai surgiu como uma das mais prósperas nações do continente, apesar de experimentar, nos tempos atuais, o impacto das altas taxas de inflação, além de outros graves problemas econômicos (NOVA ENCICLOPÉDIA ILUSTRADA FOLHA, 1996).

Eladio Dieste San Martin nasceu em Artigas, uma pequena cidade ao norte do Uruguai a, aproximadamente, 600 km de Montevidéu. A influência do mundo artístico e cultural chegou a Dieste através de seu entorno familiar, que foi propício para suas inclinações compositivas. Através de seus tios paternos, Eduardo e Rafael, conheceu figuras importantes da arte moderna no Uruguai e na Europa. Destas relações surgiu uma maneira particular de ver a estética, a arte e a arquitetura que influenciou muito a concepção das formas em seus projetos.

Uma pessoa de grande importância na formação estética de Dieste foi Joaquín Torres García. Uruguiaio, pintor e pensador, Torres García foi um pioneiro do modernismo

latino-americano, que sintetizou suas próprias concepções no chamado Universalismo Construtivo. Seus trabalhos refletiam sua paixão por geometria, ordem, síntese, construção e ritmo, sendo marcado pelo uso das proporções áureas. Após ter vivido vários anos em Barcelona, Paris e New York, onde conheceu e trabalhou com grandes personalidades da época, retornou a Montevideu em 1934, decidido a criar uma arte coletiva como nenhuma vanguarda tinha feito na Europa (ART MUSEUM OF THE AMERICAS, 1976). Através de Torres, Dieste formou um círculo de amigos composto por pessoas ligadas à arte.

Torres era muito religioso no sentido de uma consciência da transcendência do universo e da importância do lógico na profissão e na vida. Segundo Dieste, ele possuía uma extraordinária sabedoria para ver, percebia a qualidade na arte com uma sensibilidade extraordinária, independente de teorias. Antes de falecer, em 1949, falou pela primeira vez a Dieste sobre a obra de Antonio Gaudi, aconselhando-o a conhecer a Igreja da Sagrada Família, em Barcelona, na qual havia trabalhado. A admiração de Torres por Gaudi era de artesão para artesão, por sua capacidade como criador e construtor, pela precisão e por sua genialidade em construir (ELADIO..., 1997).

Eladio Dieste mudou-se para a capital para cursar Engenharia Civil na Escola de Engenharia de Montevideu, na qual se formou em 1943. Esta escola teve seu crescimento e desenvolvimento acelerados na primeira metade do século passado, refletindo um período de desenvolvimento econômico do Uruguai. Àquela época, os cursos de Engenharia e de Arquitetura funcionavam em um mesmo prédio. A ênfase dada ao ensino profissional embasava-se fortemente nos fundamentos de matemática e de física, não existindo maior dissociação entre os conteúdos específicos dos cursos. Logo após formar-se, em 1944, iniciou sua carreira como professor na Universidade de Montevideu, onde permaneceu até 1973. Durante este período, além das disciplinas nas áreas de estrutura e de mecânica, ministrou várias conferências em diversas faculdades de Engenharia e Arquitetura no Uruguai e em outros países da América. Foi designado Professor *Ad Honorem*, pelas Faculdades de Arquitetura do Uruguai e da Argentina e Doutor *Honoris Causa*, pela Universidade da República do Uruguai.

Dieste ingressou na construtora *Christiani y Nielsen*, especializada em estruturas de concreto em conchas, na qual teve a oportunidade de colaborar com profissionais que certamente tiveram influência na evolução de suas idéias. Trabalhou ainda no início de sua carreira no Ministério de Obras Públicas como projetista de Pontes e Estruturas e na empresa Viermond, especializada em fundações profundas.

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

A partir do conhecimento adquirido em estruturas de concreto em conchas, Dieste experimentou a proposição de abóbadas executadas com tijolos cerâmicos, em substituição à casca de concreto, para a cobertura de um projeto residencial do arquiteto Antonio Bonet, construído em 1947. Este projeto, a Casa Berlinghieri em Punta Ballena, além de ser decisivo para o desenvolvimento do trabalho de Dieste, tornou-se referência da obra de Bonet, sendo mencionado em diversos textos de arquitetura contemporânea da América Latina. A Figura 4.1 mostra uma vista geral desta residência.



Figura 4.1 - Casa Berlinghieri: primeira experiência de Dieste em abóbadas cerâmicas.

Esta primeira experiência bem sucedida levou Dieste a iniciar sua pesquisa em abóbadas de tijolo e definiu uma das características fundamentais de suas obras: a utilização da cerâmica como estrutura armada. O artigo intitulado *Boveda Nervada de Ladrillos «de Espejo»* (DIESTE, 1947) descreve os primeiros casos.

Dieste continuou, ao longo de sua vida profissional, empregando a cerâmica armada como material conceitualmente novo, explorando suas possibilidades formais, construtivas e estruturais. Iniciou sua carreira de construtor na tentativa de validar a teoria, a economia, a eficácia e a potencialidade de suas concepções audaciosas.

Em 1954, Dieste fundou a empresa *Dieste y Montañez* com o engenheiro e amigo Eugenio Montañez. Desde então foram desenvolvidos e executados serviços de projetos, de construção e de assessoria no Uruguai, na Argentina, no Brasil e na Espanha. Grande parte dos muitos metros quadrados construídos pela empresa deve-se ao baixo custo do sistema construtivo, fator determinante para vencer licitações públicas, à pequena quantidade de material utilizado, e à qualidade final das obras (DIESTE, 2003 a).

A empresa progrediu desenvolvendo técnicas construtivas em alvenaria armada, explorando e testando idéias em uma série de projetos, os primeiros funcionando como protótipos para os subseqüentes. Enquanto Montañez encarregava-se das áreas gerencial e comercial, Dieste ocupava-se das inovações técnicas, construtivas e estruturais. O perfil dos profissionais que trabalharam e trabalham na empresa, tanto na área de projetos quanto de execução, caracteriza pessoas que acreditaram e colaboraram no trabalho e na utilização do material e das idéias construtivas, permanecendo por vários anos, em sua maioria.

Em 1995, Dieste recolheu-se à sua casa por motivo de doença, vindo a falecer em julho de 2000. Durante este período, ele continuou trabalhando como consultor e foram desenvolvidos e construídos seus últimos projetos: cinco igrejas nos arredores de Alcalá de Henares na Espanha. A direção geral da empresa foi assumida por seu filho Eduardo Dieste e a direção técnica pelo engenheiro e amigo Gonzalo Larrambebere. Apesar dos problemas econômicos vividos pelo Uruguai nos últimos anos, com reflexos imediatos na ICC, a empresa mantém-se atuante no mercado.

A formação acadêmica propiciou a Dieste a aplicação do conhecimento solidificado dos princípios matemáticos e físicos em mecanismos estruturais e mecânicos de engenharia. Sua experiência em um ambiente rico em arte, cultura e arquitetura, propiciou uma boa interação entre a carreira acadêmica e a prática. Possibilitou ainda o desenvolvimento dos conceitos analíticos das abóbadas gaussianas ou de curvatura dupla, expressando a inovação da relação entre a engenharia e a arquitetura. A visão de engenheiro de Dieste, além de suas qualidades profissionais, refletiu suas qualidades humanas. Sua obra é marcada pela busca, pela curiosidade e pela inquietude em dar respostas de qualidade com os limitados recursos disponíveis. Ele valorizou a natureza e a paisagem, a solidariedade ao trabalhador, o ofício de construir e a criatividade frente à rotina (PEDRESCHI, 2000). Estes motivos podem ser apontados como o grande diferencial de seu trabalho, expresso através de suas formas inovadoras e revolucionárias.

As obras de Dieste distinguem-se pela capacidade arquitetônica na adequação das idéias estruturais. Confirmam que a estrutura arquitetônica obtém realidade e significado pelo propósito a que servem que é o de tornar possíveis as formas materiais que servem ao ser físico e espiritual do homem.

A seguir são destacados os pressupostos arquitetônicos relevantes para Dieste, como por exemplo, a reinterpretação da potencialidade de um material, a exploração da expressão formal e as potencialidades de utilização do espaço e da iluminação natural.

4.2 A arquitetura nas obras de Eladio Dieste

A origem da engenharia atual, herança da engenharia militar, possui aspectos positivos do ponto de vista formativo, por estar embasada na mentalidade preponderantemente matemática e abstrata. Mas apresenta aspectos negativos no sentido da falta de integração com a arquitetura, um certo temor ao que pode ser chamado de imaginação. Para um engenheiro, imaginar algo é o equivalente a saber calcular. No entanto, ter em conta a profissão de engenheiro de uma maneira completa leva, inevitavelmente, à arquitetura. Imaginar como construir um espaço é imaginar como fechar um espaço, como colocar a luz neste espaço e, principalmente, imaginar como as pessoas vão usar este espaço, como se insere o novo projeto na realidade prévia do que já está construído anteriormente. Para Dieste, isso é a essência da arquitetura (ELADIO..., 1997).

Segundo Dieste, a passagem do estritamente estrutural à arquitetura começou quando se deu conta do valor que tinha o material cerâmico, que não era usado como material estrutural. Na Universidade havia aprendido que o tijolo cerâmico não deveria ser utilizado como material portante. A partir da experiência com a cobertura da Casa Berlinghieri, percebeu que o conjunto formado por cerâmica, argamassa e aço era um material tão eficiente quanto o concreto armado, podendo ser usado em superfícies portantes e estruturais. “Dar-se conta de que um material é possível é o primeiro passo e o mais importante para o início de um caminho técnico qualquer. O principal é saber que alguma coisa pode ser feita e que esta é viável.” (ELADIO..., 1997).

Um fator que colaborou para um contato mais íntimo de Dieste com o mundo da arquitetura foi o fato de a primeira sede da sua empresa se localizar no mesmo prédio no qual Justino Serralta e Carlos Clemont, arquitetos e amigos, possuíam escritório. Eles haviam trabalhado com Le Corbusier, estando envolvidos na corrente corbusiana, corrente arquitetônica predominante na época que o *Modulor* era considerado referência das relações métricas para as proporções (ver Figura 2.5). Dieste dizia que ele subia para receber lições de arquitetura, enquanto os dois arquitetos desciam para receber lições de estrutura. Esta relação gerou uma amizade muito forte e estes arquitetos foram seus primeiros mestres, aqueles que lhe ensinaram a ver o espaço (CASTRO, 2003).

Os projetos desenvolvidos por Dieste removem a barreira entre arquitetura e engenharia, entre composição e pragmatismo, além de demonstrar habilidade técnica e confiança. Confirmam ainda sua crença em que arquitetura, forma e expressão são inseparáveis de economia, construção e eficiência estrutural. Este pensamento levou-o a desenvolver uma linguagem de edifícios em alvenaria estrutural que vai além da expressão tradicional da materialidade e de seu uso estrutural, da resistência e da

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

durabilidade. Em sua obra, as soluções para a cobertura de espaços e a preocupação de utilização de materiais locais e técnicas construtivas tradicionais se colocam como um problema a ser resolvido anteriormente às questões de projeto arquitetônico.

A Figura 4.2 mostra algumas das obras de Dieste construídas no Uruguai, e a Figura 4.3, obras construídas no Brasil, todas em cerâmica armada. São exemplos que confirmam sua crença e expressam linguagem inovadora e tecnologia construtiva própria, pela exploração das formas curvas para coberturas e paredes, pelos balanços e grandes vãos, pela variação formal dos pilares e das vigas de borda que conferem, ao mesmo tempo, resistência e leveza às estruturas e pela beleza e conforto térmico propiciado pelo material cerâmico.



(a) Atual Loja de Pneus, Montevideu



(b) Estação Rodoviária, Salto



(c) Fábrica de Refrigerantes, Salto

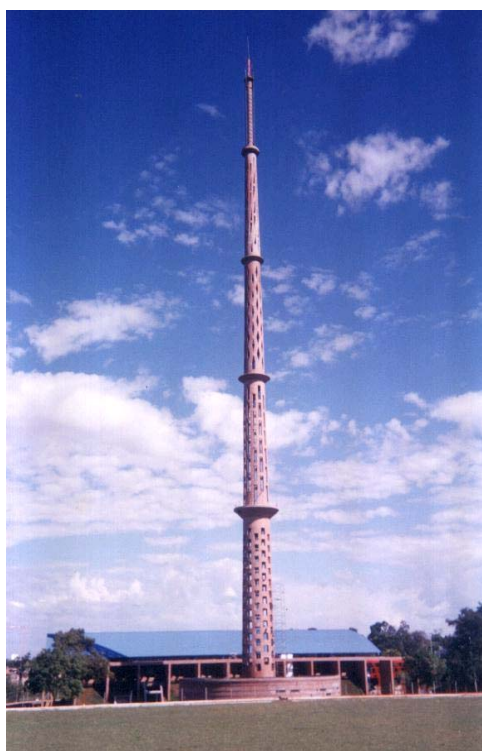


(d) Supermercado, Montevideu



(e) Ginásio de Esporte, Salto

Figura 4.2 – Obras de Eladio Dieste em cerâmica armada, no Uruguai: expressividade e linguagem inovadora.



(a) Torre de TV, Campo Grande



(b) Atual CEFET-BA, Salvador



(c) CEASA, Porto Alegre

Figura 4.3 – Obras de Eladio Dieste em cerâmica armada, no Brasil: expressividade e linguagem inovadora.

A busca consciente da necessidade do ponto de vista expressivo e a resolução de um problema dentro da economia e dos meios disponíveis foi determinante na obra de Dieste. Existiu uma preocupação ética, entendendo por ética todas as atitudes que levam à realização profunda do homem. Para Dieste, coisas aparentemente supérfluas como a expressividade, não o eram, porque envolviam uma relação inteligível que é a relação humana, a relação com os animais e a relação com o mundo. Com um sentido transcendente da vida, independentemente da posição religiosa ou filosófica, o uso responsável e cuidadoso dos materiais foi ético, sendo a economia uma consequência da ética (ELADIO..., 1997).

Inicialmente, o trabalho desenvolvido por Dieste era guiado pela intuição, embora acompanhado e controlado por cálculos. A intuição neste caso pode ser entendida no sentido filosófico, como a definição encontrada no Novo Dicionário Aurélio (FERREIRA, 1975): “contemplação pela qual se atinge em toda a sua plenitude uma verdade de ordem diversa daquelas que se atingem por meio da razão ou do conhecimento discursivo ou analítico”. O conhecimento profundo de teoria de cálculo e a experiência adquirida permitiram-lhe a exploração do uso das formas arquitetônicas de maneira inovadora.

A inovação em seu trabalho vista como modificação, implica a existência de um conhecimento que funciona como matéria prima para essa inovação, sendo neste sentido caracterizada como invenção. A própria definição de inventar, de acordo com o dicionário Webster's (RANDOM HOUSE, 1999), é “o poder de conceber novas relações e fazer algo que diverge da prática e da doutrina estabelecidas”. Essa prática é incontestável no trabalho de Dieste.

Para uma maior compreensão da sistemática adotada na geração da forma nos projetos arquitetônicos de Dieste é feita uma análise dos aspectos relevantes das obras consideradas significativas de seu trabalho.

4.3 A geração da forma nos projetos arquitetônicos de Dieste

A arquitetura apresenta-se como a síntese formal de vários fatores e influências internas e externas. Esta síntese não é atingida pelo emprego de apenas uma estratégia compositiva. Os métodos de composição discutidos e apresentados no Capítulo 2 deste trabalho devem ser entendidos como aspectos complementares do fazer arquitetônico. São conectados pelo uso de analogias formais e propriedades comuns, no sentido de leis interiores e princípios, empregadas como instrumentos de geração da forma arquitetônica. As características dos métodos inovativo, normativo, tipológico e mimético podem ser encontradas em toda a obra de Dieste e neste item estes métodos são utilizados como parâmetros para a análise do processo de projeto em arquitetura desenvolvido por ele.

Dieste sempre transmitia aos seus colaboradores uma idéia inicial básica. Seus projetos eram iniciados a partir de uma análise da demanda para o projeto ou do local onde deveria ser construída uma cobertura. As idéias conformavam-se despojadas de outras correntes arquitetônicas preconcebidas, porém apresentavam uma continuidade de seu pensamento, com respeito à obra e à forma arquitetônica. Cada trabalho era uma experiência a mais dentro de um caminho traçado, uma filosofia construtiva. Experimentava diferentes proporções e, intuitivamente, definia o que lhe parecia mais harmônico (CASTRO, 2003).

A definição do método inovativo implica na solução de problemas, conhecidos ou sem precedentes, de uma maneira diferente. Também está ligado à busca de maneiras de empregar novos materiais e à criação de edifícios para abrigar atividades inteiramente novas. Nas suas construções, Dieste propõe o emprego de um material popular de uma maneira diferente, sem precedentes. Utilizou conceitos e técnicas construtivas bem como materiais até então conhecidos para desenvolver um novo sistema construtivo, com todos os procedimentos, técnicas e equipamentos necessários à sua

execução. Criou, ainda, uma linguagem original em termos da configuração global dos edifícios, que propiciam uma nova forma de utilização aos espaços.

O método tipológico pode ser identificado pela adoção de tipologias básicas como soluções adequadas para determinados problemas. Por exemplo, Dieste empregou as abóbadas em cerâmica armada explorando a potencialidade formal possibilitada pelas características do material e da técnica construtiva.

As características do método normativo também podem ser encontradas nas obras de Dieste. De um modo geral, foram empregados sistemas proporcionais como relações correspondentes ao *Modulor* e de proporções, se não exatas, pelo menos muito próximas às relações áureas. A utilização de formas geométricas elementares, outra característica do método normativo, a partir das quais foram feitas composições criando formas mais complexas, é notada em praticamente toda a sua obra. Como exemplo, a Figura 4.4 mostra uma perspectiva simplificada da Igreja de Atlantida, cuja planta básica é uma forma geométrica elementar, um retângulo, dando origem a uma forma complexa.

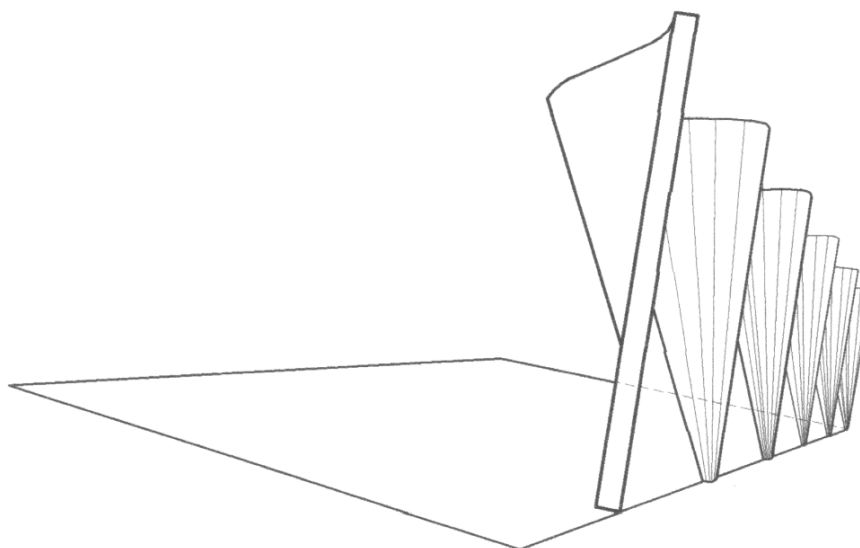


Figura 4.4 - Perspectiva simplificada da Igreja de Atlantida.

O trabalho de Dieste, ao invés de partir de preconceitos formais, partia de idéias construtivas que tinham determinados eixos que o levavam à solução do tipo de obra. Ele não escolhia as formas e sim os sistemas construtivos. As formas surgiam como consequência dos sistemas construtivos, da tecnologia da alvenaria de tijolos cerâmicos e da vontade de experimentar. (CASTRO, 2003). Esta maneira de trabalhar na concepção de projetos pode ser considerada como forma dedutiva de composição arquitetônica discutida anteriormente no Capítulo 2.

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

Na escolha de um modelo como o das estruturas em concha de cerâmica como uma solução adequada para um problema, Dieste adota o sentido de imitação do método mimético, seguindo a definição aristotélica de que o existente não é copiado fielmente, mas interpretado e adaptado. O uso de seus modelos envolveu um grau de invenção para adaptá-los às novas circunstâncias da utilização do material elegido. A idéia das formas cilíndricas, de catenárias e de translações da catenária no espaço é característica permanente em sua obra.

A Figura 4.5 mostra a cobertura da área de acesso da Fábrica de *Refrescos Del Norte*, construída, no Uruguai, no final da década de 70, constituída por duas abóbadas autoportantes sustentadas por pilares centrais.



Figura 4.5 - *Refrescos Del Norte*: exploração formal das estruturas em abóbadas autoportantes.

A partir de hipóteses mais realistas e da sua experiência, embora menos reconhecidas cientificamente, Dieste adota o emprego de formas mais ousadas como as lâminas de curvatura dupla para solução de coberturas ou como as superfícies regradas para a fachada do *Shopping Center*, em Montevideu. A Figura 4.6 mostra duas fachadas do *Montevideo Shopping*.

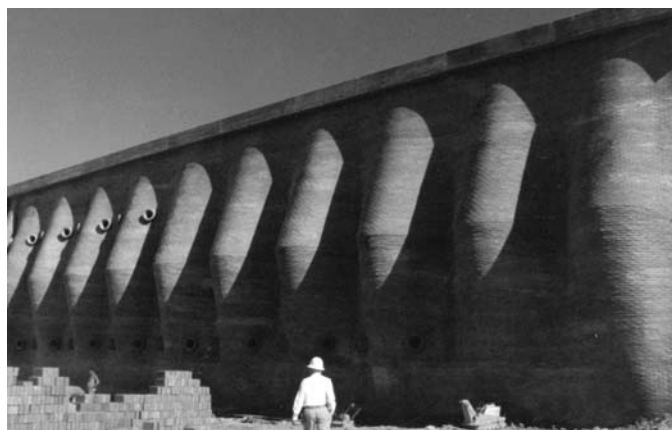
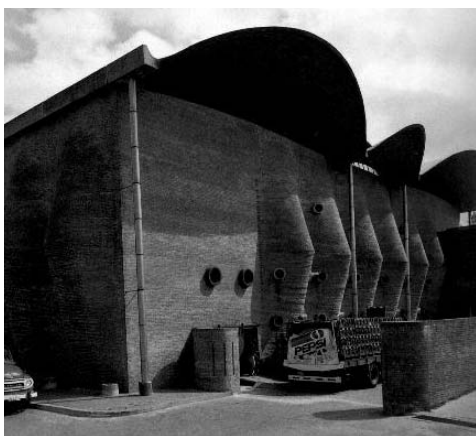


Figura 4.6 - *Montevideo Shopping*: fachadas em superfícies regradas.

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

Os modelos empregados na geração da forma arquitetônica apresentam diferenças contextuais e uma linguagem única que pode ser identificada como linguagem própria e inerente. Foram utilizados um número reduzido de elementos, tomados cuidadosamente de modelos escolhidos, com o fim de conferir significados preciosos a novos artefatos arquitetônicos. Essa analogia estilística é estabelecida através da reinvenção do motivo, de maneira a formar uma nova linguagem, ainda que esta carregue o original como sombra.

Como exemplo desta analogia podem ser citados as Igrejas de Atlantida e de Durazno. Embora as concepções arquitetônicas tenham originado soluções formais diferenciadas, ambas foram resolvidas como releitura do espaço religioso tradicional, resultando em uma arquitetura de espaços internos integrados definidos pelo sistema estrutural adotado. Estas obras são analisadas mais detalhadamente em itens subseqüentes deste trabalho.

Um projeto que pode ser apresentado como uma síntese da filosofia religiosa e da linguagem arquitetônica formal da obra de Dieste é a Igreja de *San Pedro* em Malvin que não chegou a ser construída, a não ser por parte da torre do presbitério e pela Casa Paroquial. O projeto arquitetônico para a Igreja de Malvin considera a construção da nova obra sem a prévia demolição da Igreja antiga e inclui a Casa Paroquial contígua à construção. Este projeto apresenta formas cilíndricas e de translações da catenária no espaço, elementos empregados anteriormente na Igreja de Atlantida, e a idéia da torre do presbitério integrada à nave principal utilizada na igreja de Durazno.

A Figura 4.7 mostra, em maquete, uma visão geral do que seria a Igreja de Malvin e a Figura 4.8, a planta do projeto arquitetônico.

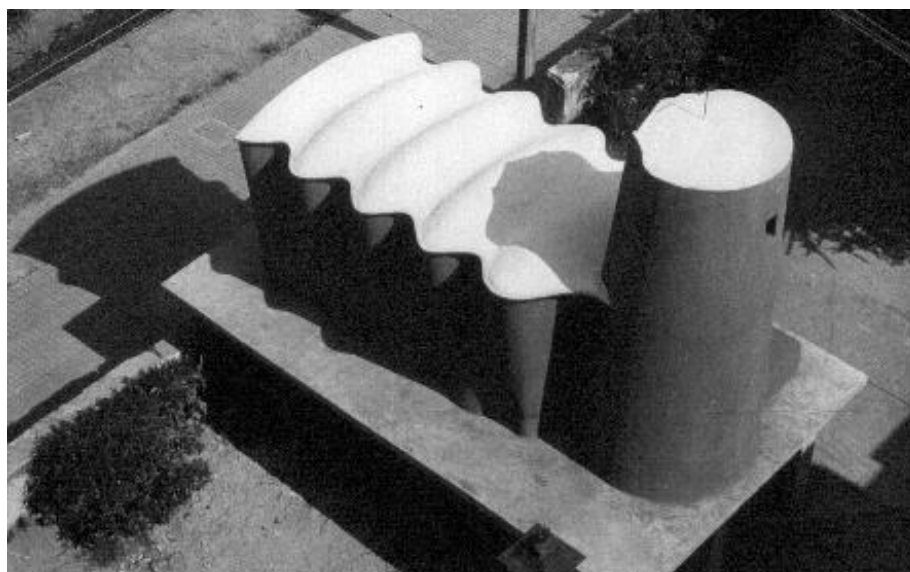


Figura 4.7 - Maquete da Igreja de Malvin.

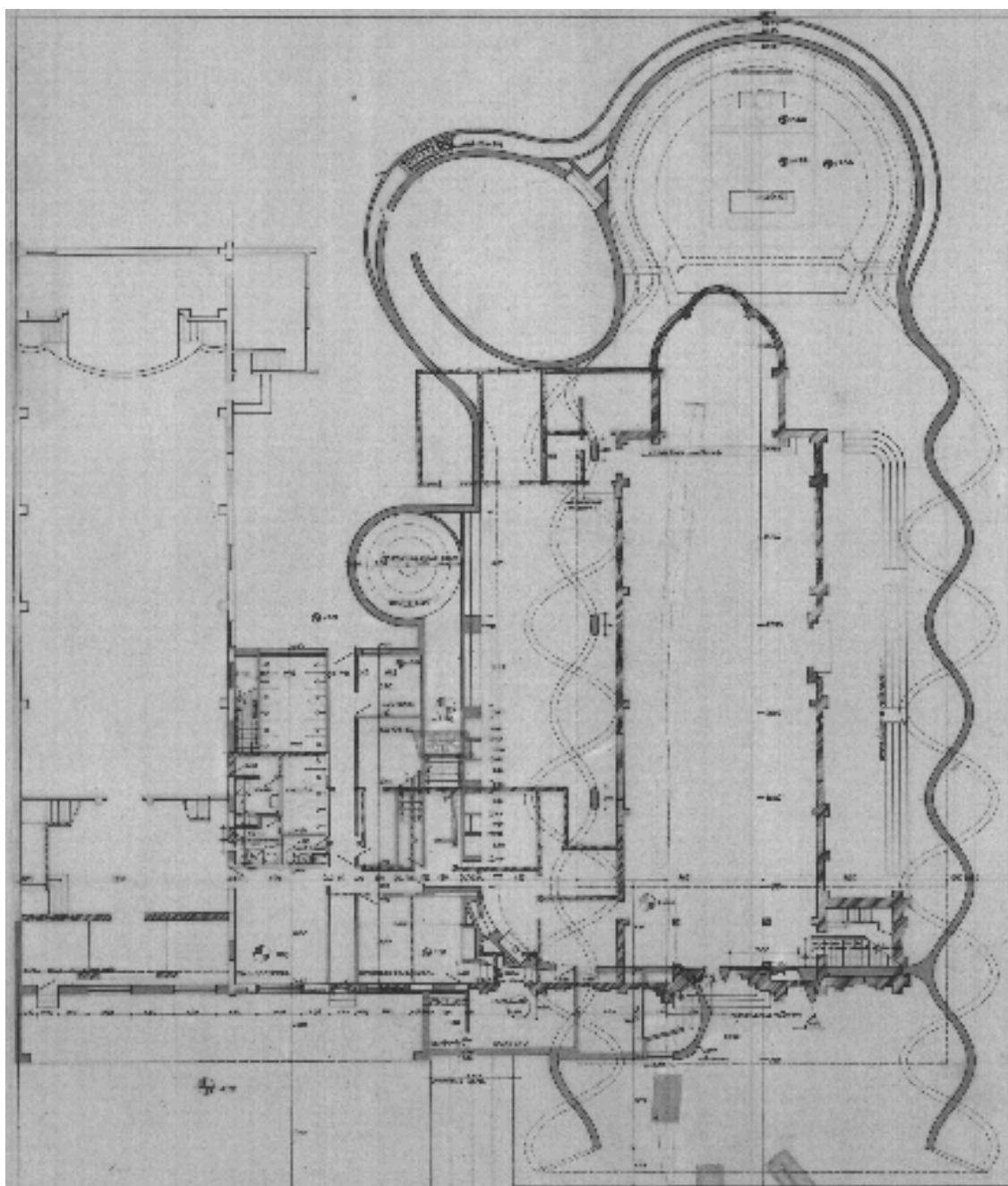


Figura 4.8 – Planta da Igreja de Malvin: projeto síntese da filosofia religiosa e formal de Dieste.

O projeto desenvolvido para a Igreja de Malvin foi adaptado para a construção da Igreja de *San Juan de Ávila*, na Espanha, no final da década de 90. A Figura 4.9 mostra, como exemplo de detalhamento do projeto arquitetônico, duas plantas da Igreja de *San Juan de Ávila*. Nelas são apresentadas as referências geométricas das superfícies regradadas em dois níveis: o do solo, na cota 0,00 m e o da cobertura, na cota 11,10 m, com as respectivas cotas de cada segmento da superfície interna da parede nos referidos níveis.

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

Este projeto exemplifica a elaboração das formas e a geração de tipologias inovadoras na concepção arquitetônica, através da reinvenção do tipo, princípio do método tipológico. A Figura 4.10 mostra duas vistas da Igreja de *San Juan de Ávila*, na Espanha.

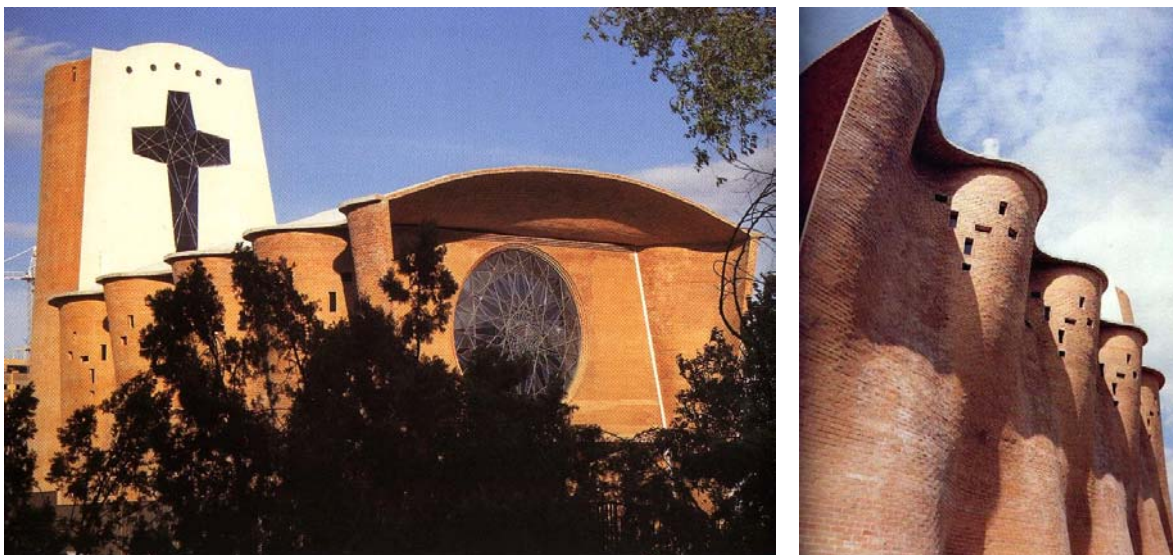


Figura 4.10 - Igreja de *San Juan de Ávila*, na Espanha.

A exploração do uso das formas arquitetônicas, nas relações funcionais e morfológicas, de forma inovadora é discutida no próximo item.

4.4 O contexto arquitetônico nas relações funcionais e morfológicas

Dentro de pressupostos arquitetônicos, a ênfase nos projetos era dada por Dieste em alguns pontos que podem ser destacados e identificados em todas as suas obras como a composição e a harmonia da forma, a iluminação natural e seus efeitos, a expressão da forma enquanto funcionamento da estrutura e o desenvolvimento de uma técnica construtiva apropriada às tipologias.

Dieste era um extraordinário engenheiro e um grande artista, mais do que um arquiteto. Era um grande admirador da arquitetura, embora não tenha tido nenhuma formação acadêmica formal nessa área. De qualquer maneira, estava completamente envolvido com a arquitetura enquanto expressão da estrutura com arte. Não se preocupava com todos os aspectos da arquitetura, somente com alguns aspectos que lhe interessava, tendo obsessão pela harmonia, pelas proporções e pelas relações entre as formas (LARRAMBEHERE, 2003; CASTRO, 2003).

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

Uma obra que expressa sua preocupação com o contexto arquitetônico dentro das relações funcionais e morfológicas é o Depósito *Julio Herrera y Obes* da Administração Nacional de Portos, construído em 1979, em Montevideu. Após um incêndio que destruiu toda a cobertura e comprometeu parte das paredes de alvenaria, foi aberta licitação pública para o projeto e construção de um novo depósito. A proposta apresentada por Dieste considerou a manutenção da antiga alvenaria e a construção de uma nova cobertura em abóbadas de cerâmica armada. Esta foi escolhida por totalizar a metade do custo das outras, que sugeriam a demolição total e reconstrução de um novo prédio. O grande vão de 50 x 84 m foi coberto com abóbadas de curvatura dupla e a seqüência de janelas e pilares foi mantida. Buscou-se enfatizar a forma sem tirar da alvenaria antiga a estaticidade do estilo romano do antigo galpão.

A Figura 4.11 mostra duas vistas internas do Depósito *Julio Herrera y Obes*, conhecido como o Depósito do Porto de Montevideu. É chamado pelos funcionários atuais de depósito 5 estrelas pela facilidade de locomoção e de estoque, pela iluminação natural propiciada pelas aberturas na cobertura e pela ambientação oferecida pelo material cerâmico.



Figura 4.11 – Depósito do Porto, em Montevideu: exploração formal da arquitetura.

Outra obra que permite a análise detalhada das relações funcionais e morfológicas é a Igreja de Atlantida, discutida no próximo item. Considerada sua primeira obra arquitetônica, reflete a preocupação de Dieste com o princípio funcional de uma igreja, dentro das possibilidades econômicas. Apesar de não ter havido uma consciência plena dos aspectos arquitetônicos, Dieste reconhece o cuidado com o espaço gerado

pela forma arquitetônica e estrutural e a surpresa causada por este espaço, com as diferentes sensações originadas pela iluminação, pela textura e pela beleza dos materiais (ELADIO..., 1997).

4.4.1 Igreja do *Cristo Obrero* em Atlantida

Em 1952, o engenheiro Eladio Dieste foi procurado para construir um pequeno galpão com cobertura em abóbada na pequena vila denominada Estação Atlantida. Tratava-se de um senhor que fazia um trabalho religioso e queria construir uma igreja para os moradores da região. Este povoado, localizado a 40 km de Montevideu, foi formado há aproximadamente 90 anos, às margens de uma parada da estação ferroviária que fazia a ligação de outras regiões com o balneário Atlantida. Abrigava as pessoas de menor poder aquisitivo que trabalhavam para aqueles que freqüentavam ao balneário.

Por falta de verbas, a primeira idéia era a de uma obra muito simples, pois partiu-se do princípio que o importante não era o lugar e sim a atitude das pessoas na oração religiosa. Desde os primeiros contatos, Dieste discordou desta idéia, pois considerava importante o espaço onde se realizam as orações, para proporcionar um estado espiritual de contato com Deus. Através de um longo processo de convencimento e de desenvolvimento de projeto, foi proposto um espaço propício para a comunicação com Deus, uma igreja ao invés de um simples galpão. Dieste comprometeu-se a projetá-la e construí-la pelo orçamento inicialmente proposto (CASTRO, 2003).

A Igreja do *Cristo Obrero* em Atlantida é contemporânea da Igreja de *Notre Dame du Haut* em Ronchamps, de Le Corbusier (ver Figuras 2.14 e 2.15). Apresenta alguns elementos comuns como o uso de superfícies onduladas, a parede frontal recuada, a cobertura em superfície ondulada, a entrada lateral, a torre exterior para o campanário e a iluminação através de pequenas janelas com vidros nas cores primárias. No entanto são obras arquitetônicas distintas no que se refere às relações de simetria e assimetria do tratamento das massas.

Entre os aspectos que sobressaem na Igreja de Atlantida está o valor da estrutura e sua íntima relação com a forma arquitetônica. Para Dieste a estrutura é como o esqueleto da obra. Outras partes da construção podem ser agregadas, porém a forma e a estrutura são irmãs gêmeas e não podem ser pensadas em separado. Para ambas deve haver um só ato de criação (DIESTE, 2003 b).

A Figura 4.12 mostra uma vista geral da Igreja de Atlantida, que expressa a inseparabilidade entre a estrutura e a forma arquitetônica.



Figura 4.12 - Vista geral da Igreja do *Cristo Obrero*, em Atlantida: relação íntima entre estrutura e forma arquitetônica.

É importante considerar que esta Igreja foi projetada em 1958, antes do Concílio Vaticano II, na época do Papa João XXIII, quem fez as reformas na liturgia católica. Naquela época, as missas eram celebradas em latim e os padres se colocavam de frente para o altar e de costas para a assembléia e o batismo era realizado individualmente, quando as crianças eram recém-nascidas. Estes procedimentos comuns foram as referências iniciais para a proposta dos espaços da Igreja de Atlantida.

O caráter individual da composição é marcante neste projeto, pois Dieste afirmava que não havia consciência plena quando da construção de Atlantida. Havia uma idéia muito clara de qual seria o objetivo: queria obter uma relação entre os fiéis e o presbitério de maneira que o religioso não fosse uma coisa de especialistas, de padres, e sim de todos os participantes como autores das cerimônias. Este foi o princípio, a idéia essencial: a ética funcional de uma igreja. Como consequência deste princípio a idéia formativa da Igreja apresenta uma relação entre unidade e o todo, sem separação entre o presbitério e a nave (CASTRO, 2003).

Com Atlantida surgiu a idéia da superfície regradada para as paredes externas, solução posteriormente adotada em outras obras. A partir de uma figura geométrica elementar,

o retângulo, o corpo da igreja eleva-se em uma figura complexa. A Figura 4.13 mostra a planta da Igreja de Atlantida.

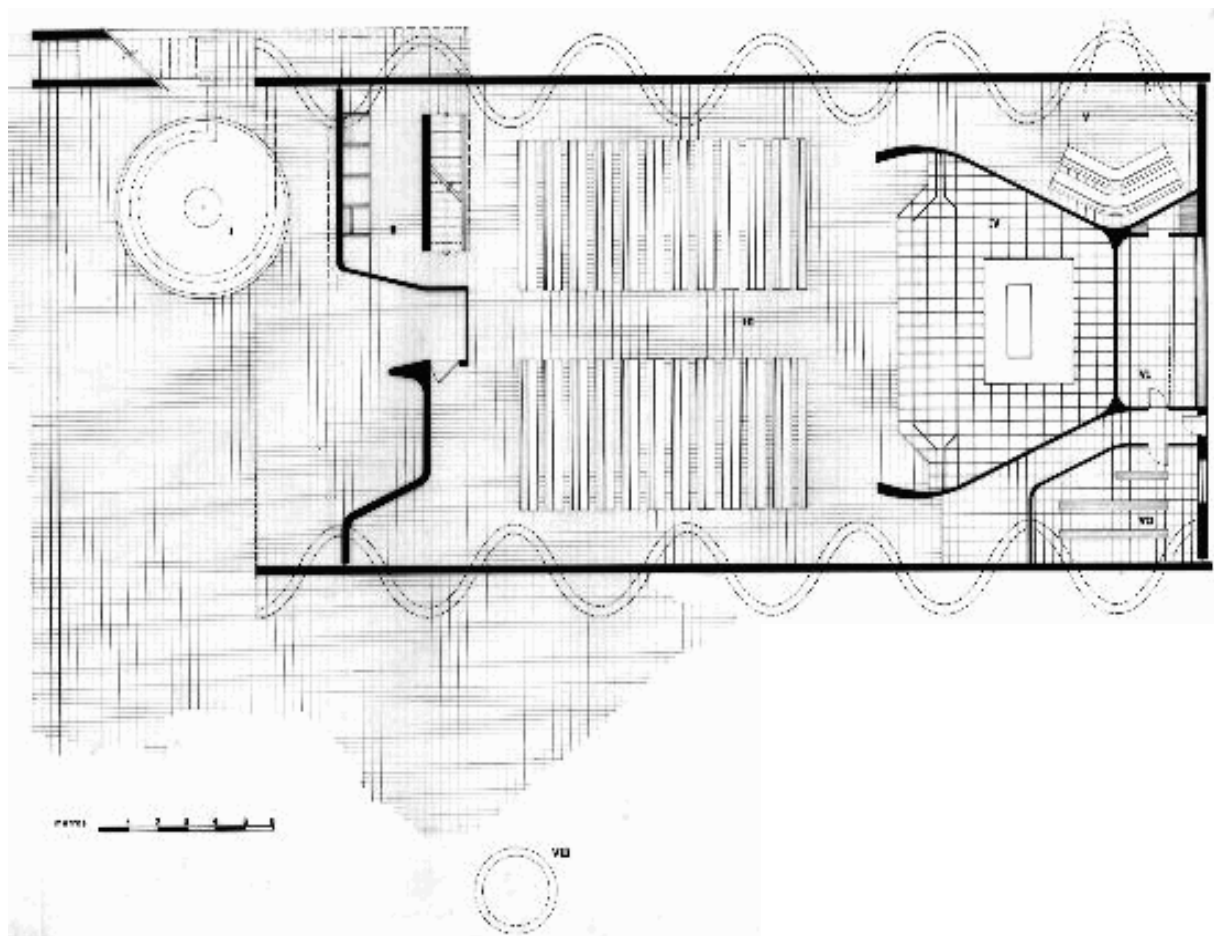


Figura 4.13 - Planta da Igreja de Atlantida.

A planta arquitetônica da Igreja de Atlantida, formada a partir de uma base retangular de 16 x 30 m, possui paredes de 7 m de altura e abóbada máxima de 8,47 m. Os dois primeiros terços da Igreja, a partir da fachada frontal, abrigam o átrio articulado em planta com o confessionário e em seção com o coro, além do espaço para os fiéis, com capacidade máxima para 200 pessoas. A última terça parte compõe-se do conjunto presbitério-sacristia, alinhados segundo o eixo transversal com a ante-sacristia e a capela da Virgem localizadas nos extremos da cabeceira, e simétricos segundo o eixo longitudinal da nave.

Esta aparente modulação apresenta-se como sugestão geométrica, embasada na relação áurea, uma das características do método normativo, para a organização do programa nas relações entre os elementos de planta, seção e elevação. A razão entre o maior lado da planta (30 m) e o menor (16 m) apresenta, aproximadamente, o

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

mesmo valor da razão entre o menor lado da planta (16 m) e a altura máxima da abóbada (8,47 m). A Figura 4.14 mostra os cortes da Igreja de Atlantida.

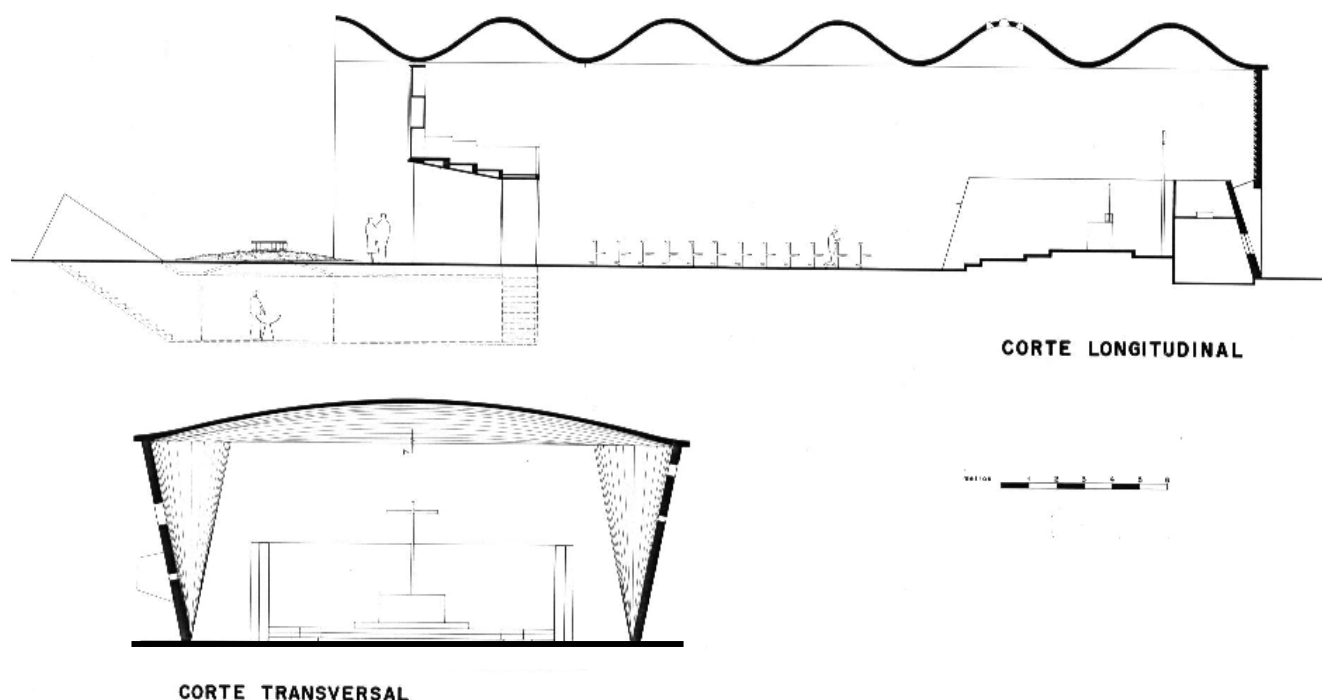


Figura 4.14 - Cortes longitudinal e transversal da Igreja de Atlantida.

A geração da forma arquitetônica do partido expressa claramente o método inovativo, sugerindo uma nova utilização para o espaço religioso. Como proposta de integração entre os fiéis e o padre construiu-se um espaço único, uma grande nave fortemente vinculada ao presbitério e a eliminação do comungatório, espaço freqüente nas igrejas projetadas e construídas anteriormente ao Concílio. O conjunto nave-presbitério possui uma unidade comunitária formada pela estrutura de paredes regradas e cobertura em abóbadas de curvatura dupla, com uma simetria de repetição rítmica de seis vezes da ondulação das paredes laterais anunciada na fachada frontal.

Dieste já expressava uma idéia avançada de como deveria ser a cerimônia, representada pela forma em que projetou o altar elevado como dois grandes braços que recebiam e abraçavam a assembléia no momento da comunhão, embora o espaço tenha sido projetado inicialmente para a celebração de costas. Esta solução do projeto facilitou a adaptação do altar, quando da modificação dos ritos e do posicionamento do celebrante de frente para os fiéis.

Atrás do altar-mor foi localizada a sacristia, sugerindo que a entrada do padre vindo da sacristia para o altar, fosse paulatina, gradual e expressiva, possibilitando uma integração com os fiéis, participantes da cerimônia.

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

A Figura 4.15 mostra uma vista geral do altar-mor e Figura 4.16 mostra um estudo do projeto para o altar-mor da Igreja de Atlantida, em forma de braços abertos.

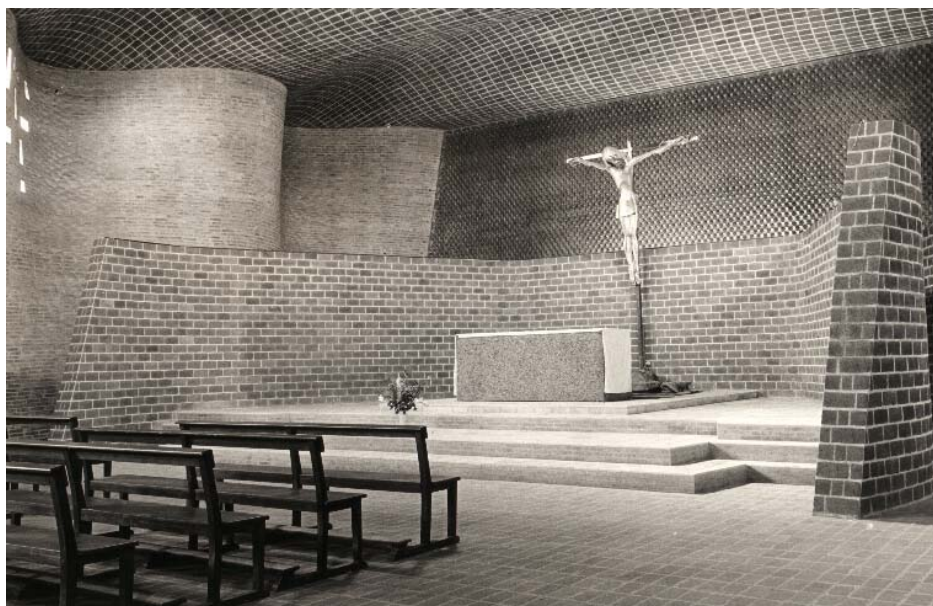


Figura 4.15 – Vista interna do altar-mor da Igreja de Atlantida: integração com os fiéis.

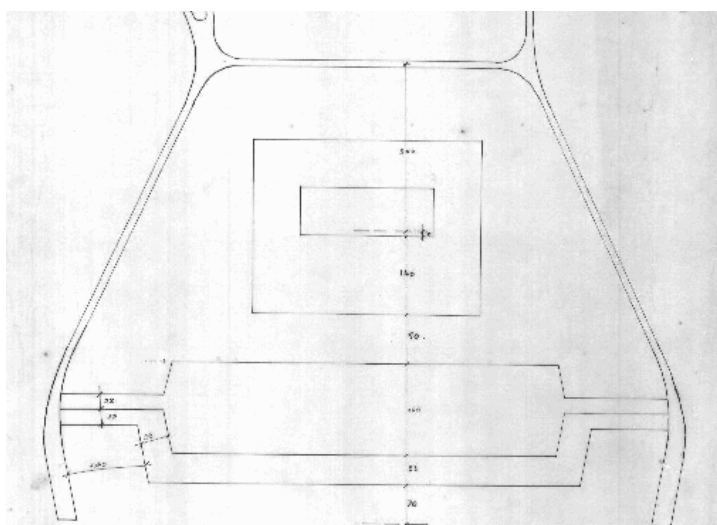


Figura 4.16 - Estudo de projeto para a solução do altar-mor da Igreja de Atlantida.

O método mimético pode ser encontrado pela adoção do modelo das antigas catedrais, com a nave principal separada das naves laterais por uma sucessão de colunas. No entanto, trata-se de uma releitura destes elementos. As naves se fundem formando uma só unidade. O ritmo formado pela sucessão de pilares é recriado pelas ondulações das paredes de superfícies regradas que envolvem toda a unidade, como mostra a Figura 4.17.

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

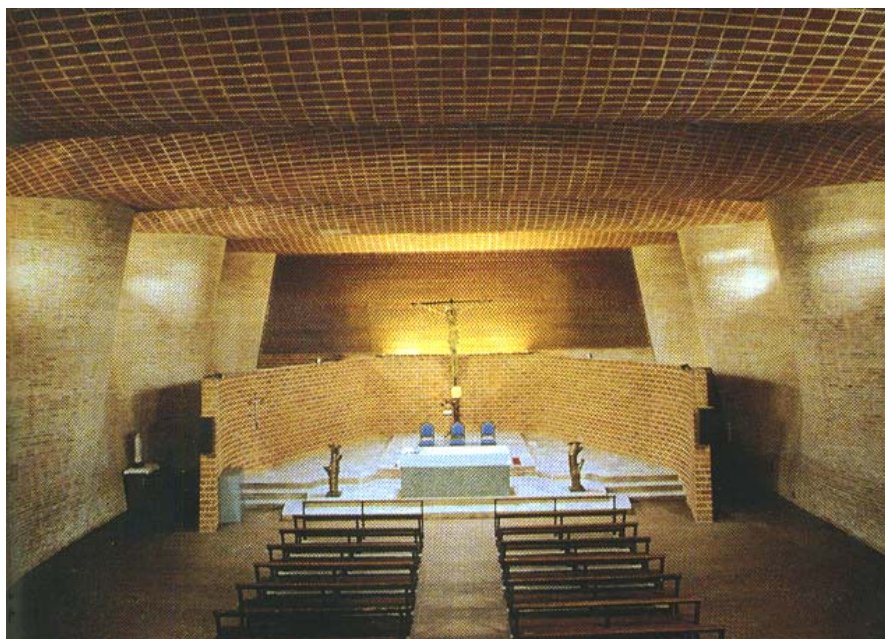


Figura 4.17 - Vista geral do interior da Igreja de Atlantida: unidade espacial e ritmo.

Mais uma vez o método normativo pode ser identificado na conformação das superfícies regradas que constituem as paredes externas. As características formais destas superfícies sugerem uma redução da dupla espiral do *Modulor* mostrada na Figura 4.18, proposta por Le Corbusier, analisada no Capítulo 2.



Figura 4.18 - Dupla espiral do *Modulor* de Le Corbusier.

A Figura 4.19 mostra uma vista da fachada lateral da Igreja de Atlantida na qual nota-se a repetição rítmica das paredes laterais externas.



Figura 4.19 - Vista lateral externa da Igreja de Atlantida: repetição rítmica das formas regradas.

Embora bastante religioso Dieste não possuía afeição a santos ou a nenhuma outra figura que se intermediasse entre ele e Deus. O templo significava um local onde se relacionam Deus e as pessoas e, por este motivo, não foram criados altares secundários para nenhum santo (DIESTE, 2003 a). Entretanto, para a Igreja de Atlantida foi projetada uma capela para Nossa Senhora de Lourdes à esquerda do presbitério, com um pequeno altar vazado em forma tronco-piramidal. A Figura 4.20 mostra um estudo de projeto e um detalhe do altar construído com a imagem da Santa.

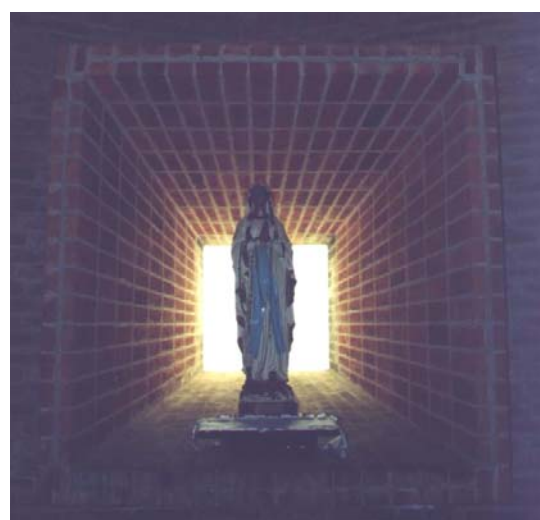
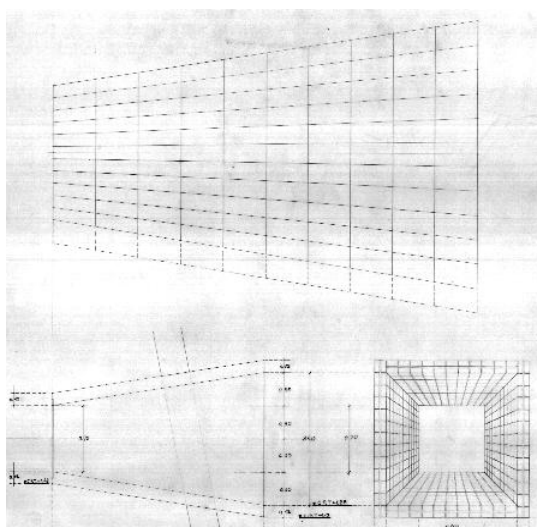


Figura 4.20 - Altar de Nossa Senhora de Lourdes, em Atlantida: estudo e foto.

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

Este altar é um trabalho detalhado de alvenaria no qual todas as peças foram cortadas em forma trapezoidal, acompanhando a forma global, para enfatizar a perspectiva e aumentar a sensação de profundidade. Ao fundo, originalmente foi colocada uma placa translúcida de ônix, como forma de vedação, permitindo a passagem de luz. Por ter sido quebrada, esta placa foi substituída por um material plástico criando uma sensação parecida de iluminação. A Figura 4.21 mostra detalhe externo deste altar.



Figura 4.21 – Vista externa do Altar de Nossa Senhora de Lourdes: cuidado na definição, no corte e na colocação das peças cerâmicas.

A fachada frontal da Igreja mostra a seção simétrica no ponto de maior abertura da abóbada da cobertura, contrapondo-se às paredes laterais que se abrem na parte superior para aumentar a tensão no grande arco da abóbada. Esta fachada cria a figura de um pórtico formado por planos distintos: os muros laterais, o frontão sobre a entrada e a parede do átrio. Esta última parede afunda-se para a direita quebrando a simetria total para conduzir os fiéis ao interior da igreja, não como uma entrada direta, mas criando um espaço para um pré-encontro com Deus.

O acesso externo ao batistério subterrâneo formado por um elemento triangular e a torre fazem um jogo em diagonal, acentuado pelas figuras cilíndricas independentes e contrapostas da cobertura do batistério e do campanário, que podem ser vistos em planta na Figura 4.13 – Planta da Igreja de Atlantida.

A Figura 4.22 mostra uma vista da fachada frontal da Igreja de Atlantida com os elementos descritos.



Figura 4.22 - Fachada frontal da Igreja de Atlantida: elementos de composição.

A torre do campanário foi projetada externamente ao bloco da igreja como uma expressão arquitetônica da época. No entanto, Dieste defendia a idéia de uma torre para abrigar outras funções que não a de simplesmente sustentar o sino, mas contendo algo de lúdico, permitindo o acesso das pessoas comuns para aproveitar o que pode proporcionar uma estrutura de grande altura (CASTRO, 2003). A altura desta torre coincide com a dimensão da largura da nave ao nível do coro, criando uma dinâmica entre as formas. A escada de acesso ao campanário, também construída em cerâmica armada, está apoiada nas paredes externas pelo lado interior da torre. A Figura 4.23 mostra um detalhe desta escada.

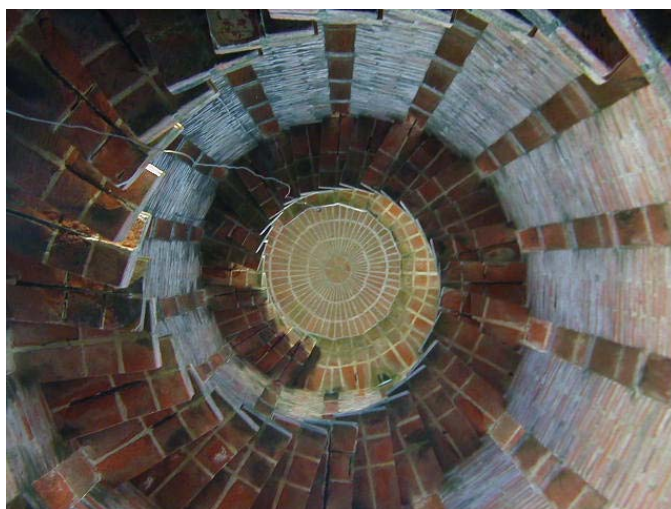


Figura 4.23 - Interior da torre do campanário: escada de acesso.

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

Uma solução de caráter simbólico adotada por Dieste é o batistério subterrâneo, localizado fora da igreja. Além de recordar a época em que os cristãos perseguidos pelos agentes do império romano se escondiam nas catacumbas subterrâneas onde eram batizados, Dieste queria um local de ritual para expressar a morte e ressurreição descrita por São Paulo (DIESTE, 2003 a). O batismo simbolizava a entrada na sociedade católica quando o novo cristão integrava a religião católica. Desta forma, os pais entravam pela escada externa com as crianças pagãs, que por sua vez eram batizadas e, somente após a cerimônia, adentravam a igreja.

A entrada do batistério é em forma de prisma triangular, um elemento solto do volume da igreja, conforme mostra a Figura 4.24. Inicialmente, a porta original do batistério era uma placa de ônix que foi substituída após ter sido destruída. O corredor de acesso que conduz ao batistério subterrâneo possui iluminação zenital, construída com o mesmo elemento da clarabóia principal da nave. Atualmente esta entrada encontra-se fechada para os trabalhos de restauração da Igreja, em andamento.



Figura 4.24 - Vista frontal de Atlantida: detalhe da entrada do batistério.

Sobre a pia batismal, foi projetada uma pequena abóbada em forma de cúpula bem rebaixada, exteriormente coberta de terra e grama. Esta cúpula é iluminada por uma clarabóia, fechada por um círculo central de pedra de ônix translúcido, que permite a passagem da luz direcionando-a ao centro da pia. No piso do batistério, também construído em cerâmica armada, peças trapezoidais foram dispostas circularmente em torno desta pia, reforçando a idéia de centralidade. A Figura 4.25 mostra o batistério, em planta e cortes.

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

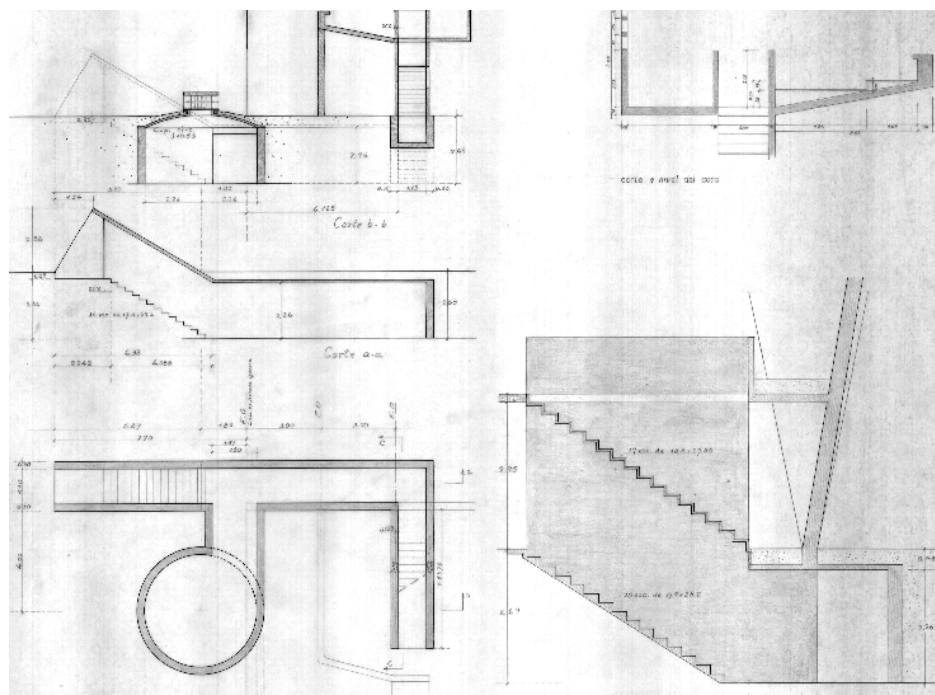


Figura 4.25 - Cortes e planta do batistério da Igreja de Atlantida.

A fachada posterior da igreja é definida pelo ponto onde a abóbada da cobertura faz-se praticamente plana, vista complementar à fachada frontal, surgindo como uma interrupção da seqüência de paredes e abóbadas onduladas. A proposta para esta fachada expressa a busca consciente da necessidade do ponto de vista expressivo e a resolução de um problema dentro da economia e dos meios disponíveis. Embora não seja a fachada mais famosa trata-se de uma fachada muito harmônica como mostra a Figura 4.26.



Figura 4.26 - Fachada posterior da Igreja de Atlantida.

Para o fechamento desta fachada, por traz da sacristia, foi criada uma parede inclinada até meia altura. Uma janela disposta horizontalmente deixa a luz entrar por baixo, iluminando a parede de fundo do altar-mor, sem interferir na visão geral da massa formada pelos muros e pela cobertura. A Figura 4.27 mostra um detalhe externo desta janela.



Figura 4.27 – Detalhe da janela horizontal de Atlantida: iluminação direcionada.

A Igreja de Atlantida é marcante no trabalho de Dieste, pois se trata de uma das obras de arquitetura em que há maior coerência entre o construtivo, o formal e o estrutural. A estrutura, a volumetria, a solução espacial, a textura, a técnica construtiva e o emprego do material são inseparáveis na análise desta obra. Todos estes elementos conformam um espaço único, espaço que também intervém na concepção do objeto construído. Existe uma concepção espacial com uma razão estrutural atendendo a uma determinada função, como uma grande síntese de um espaço religioso que representa o verdadeiro racionalismo defendido por Dieste. Um racionalismo global que expressa a sua personalidade e a sua competência profissional, explorando todas as possibilidades de uso e a integração dos espaços pelos usuários. Os elementos existentes sejam eles arquitetônicos, construtivos ou estruturais, são necessários e expressam claramente sua função.

Como em muitas das obras de Dieste, o aspecto surpresa pela visão do espaço mostra-se presente. Basta entrar neste espaço religioso para perceber o fantástico criado pelas diferentes sensações causadas pela iluminação, pela ondulação das paredes e do teto e o impacto dramático da parede com textura do fundo do altar-mor. “A Igreja de Atlantida é uma espécie de encontro com algo mais do que se imagina, uma espécie de presente, de dádiva” (ELADIO..., 1997).

Outra obra religiosa representativa da tipologia desenvolvida por Dieste é a Igreja de Durazno que é analisada no próximo item deste trabalho.

4.4.2 Igreja de *San Pedro* em Durazno

A cobertura para Igreja de *San Pedro*, em Durazno, foi encomendada ao engenheiro Eladio Dieste após um incêndio que havia destruído praticamente toda a construção, em 1967. Esta Igreja, mais conhecida como a Igreja de Durazno, está localizada na praça principal da capital do departamento de mesmo nome, a 180 km de Montevideu.

A construção original, da década de 20, como muitas outras nas pequenas cidades do interior do Uruguai, possuía fachada com características dos estilos românico e renascentista, com pináculos. Apresentava planta de basílica com naves laterais em abóbadas cerâmicas apoiadas em colunatas metálicas revestidas de alvenaria. A nave central era coberta por uma falsa abóbada de metal e gesso, de estrutura em madeira que suportava o telhado metálico. Ao incendiar-se a nave central foi destruída, as naves laterais danificadas, restando praticamente intacta apenas a fachada frontal e o pórtico de entrada.

Dieste considerou que deveria dar como resposta algo melhor do que simplesmente uma cobertura em abóbada. Aparentemente sua tarefa seria somente construir uma nova cobertura. Alguns dias após a visita ao local, ele sugeriu uma nova concepção para a igreja, conservando a fachada original que integrava o entorno e reconstruindo todo o seu interior (LARRAMBEBERE, 2003).

Foi sugerida para a igreja uma solução formada por um sistema de superfícies em planos. Dieste esboçou sua idéia básica através de um croqui, de uma maneira difusa, porém determinada, explicitando claramente seus princípios de composição. A partir da idéia inicial, os projetos foram desenvolvidos por seus colaboradores, o engenheiro Raúl Romero e o arquiteto Alberto Castro que trabalhavam na empresa, na época. Foram definindo-se os aspectos arquitetônicos, as proporções, os cortes, as alturas, a iluminação, o funcionamento da estrutura, a forma do teto e a maneira como este se apoiava, uma vez que se tratavam de grandes vãos. Aprovadas estas definições, Dieste desenvolveu o cálculo e as técnicas construtivas pessoalmente. Conformou-se de um trabalho de equipe, de profissionais integrados, sempre guiados pelo maestro Dieste (CASTRO, 2003).

Esta conduta no desenvolvimento do projeto arquitetônico caracteriza uma forma dedutiva de composição. A Figura 4.28 mostra a fachada original restaurada.



Figura 4.28 - Igreja de Durazno: fachada original conservada e restaurada.

A planta proposta para a Igreja de Durazno possui tipologia básica simples, característica do trabalho de Dieste. Trata-se de um retângulo nas dimensões de 32 x 25 m que abriga as três naves, uma central e duas laterais, respeitando a planta anterior, com uma extensão na forma hexagonal para o presbitério. A Figura 4.29 mostra a planta da Igreja de Durazno e a Figura 4.30 mostra a concepção espacial da obra em perspectiva esquemática.

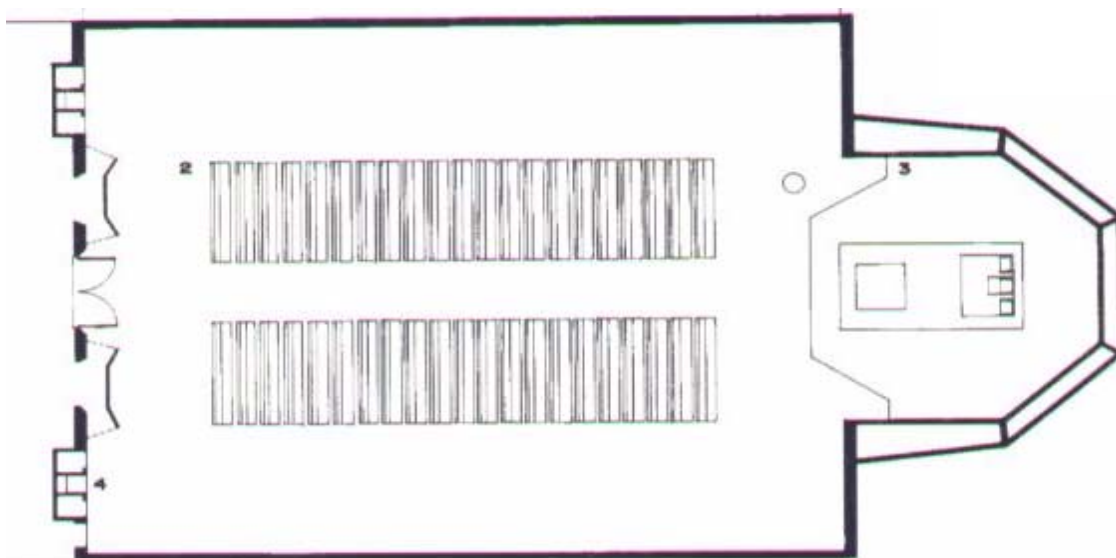


Figura 4.29 - Planta da Igreja de Durazno

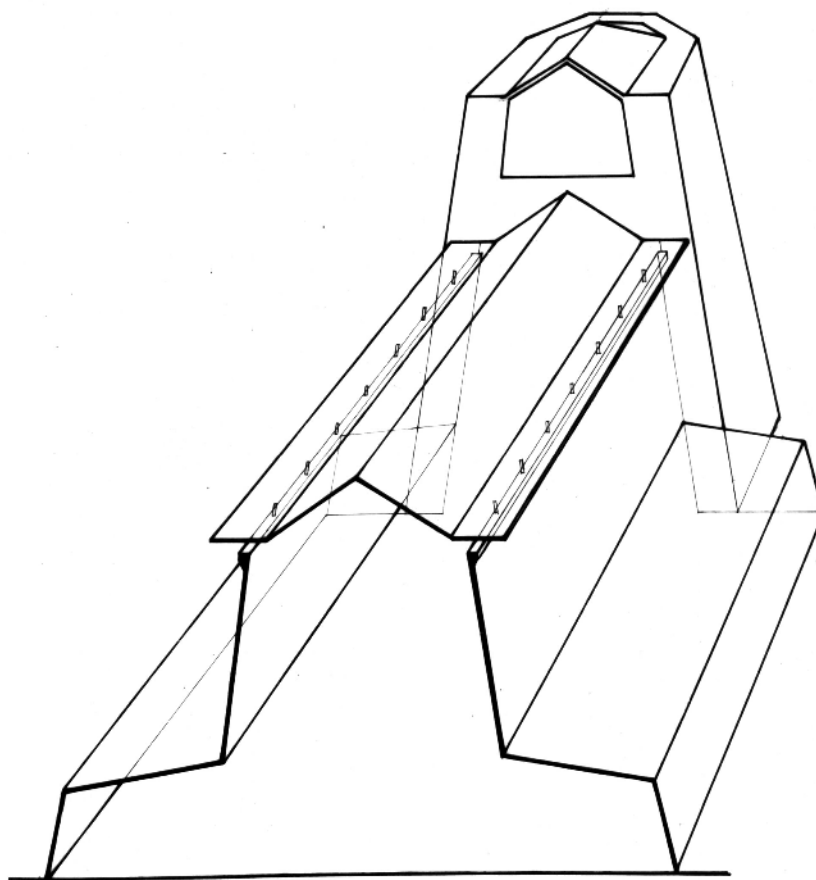


Figura 4.30 – Perspectiva esquemática da solução formal de Durazno: superfícies em planos.

Diversamente da solução adotada para a Igreja de Atlantida, a Igreja de Durazno é uma releitura do esquema clássico de basílica. Enquanto na basílica a nave central apresenta-se separada das naves laterais por uma série de colunas, em Durazno, ao invés do uso de colunas, a distinção dos espaços das naves principal e laterais é conseguida a partir de um vínculo geométrico de planos distintos e inclinados. Estes planos delimitam as paredes laterais e as coberturas, criando uma unidade global para a assembléia, sem interrupção por elementos físicos e fundindo-se ao presbitério.

Esta releitura pode ser classificada como um misto do método inovativo, enquanto utilização de uma analogia para a geração da forma arquitetônica, e do método mimético, enquanto adaptação de um modelo à nova realidade. Nota-se uma relação mais complexa entre definição e interpretação no processo de projeto em arquitetura pelo acréscimo de um valor modificador, uma vez que, naquela época, Dieste já havia experimentado o uso de superfícies em planos em uma pequena casa de sua propriedade.

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

O aspecto inovador deste projeto encontra-se no tratamento das seções, no arrojo no uso das técnicas e dos materiais explorando a utilização de grandes vãos que estabelecem um diálogo entre o formal e as soluções estruturais. Todas as superfícies são planas e inclinadas em direção ao centro, com a altura máxima de 15 m na cobertura da nave central. A Figura 4.31 mostra o corte longitudinal da Igreja de Durazno e a Figura 4.32 o corte transversal.

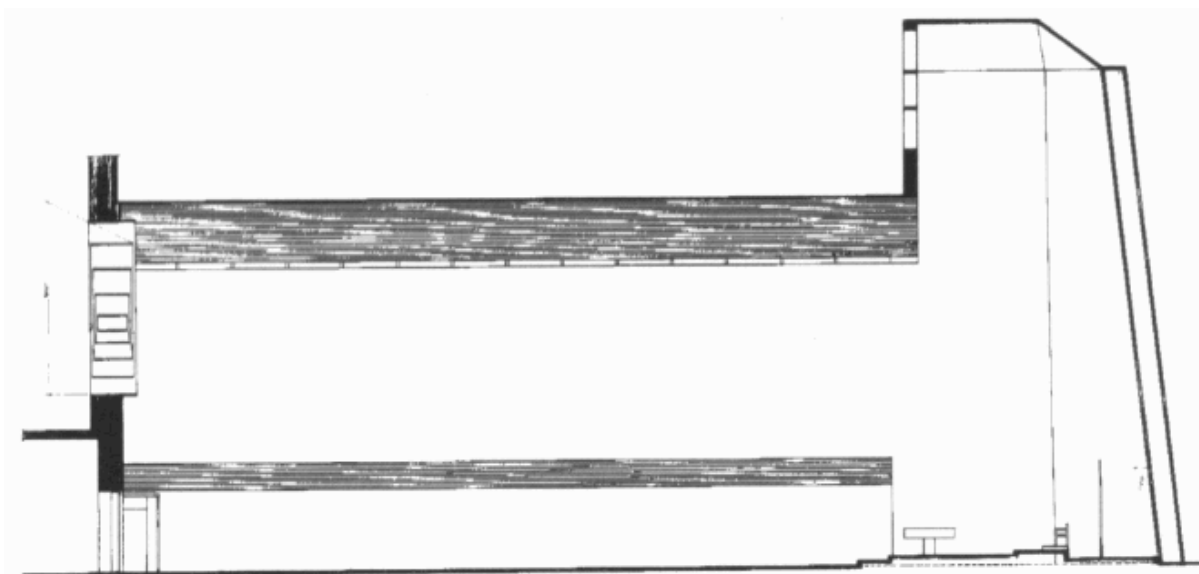


Figura 4.31 - Corte longitudinal da Igreja de Durazno.

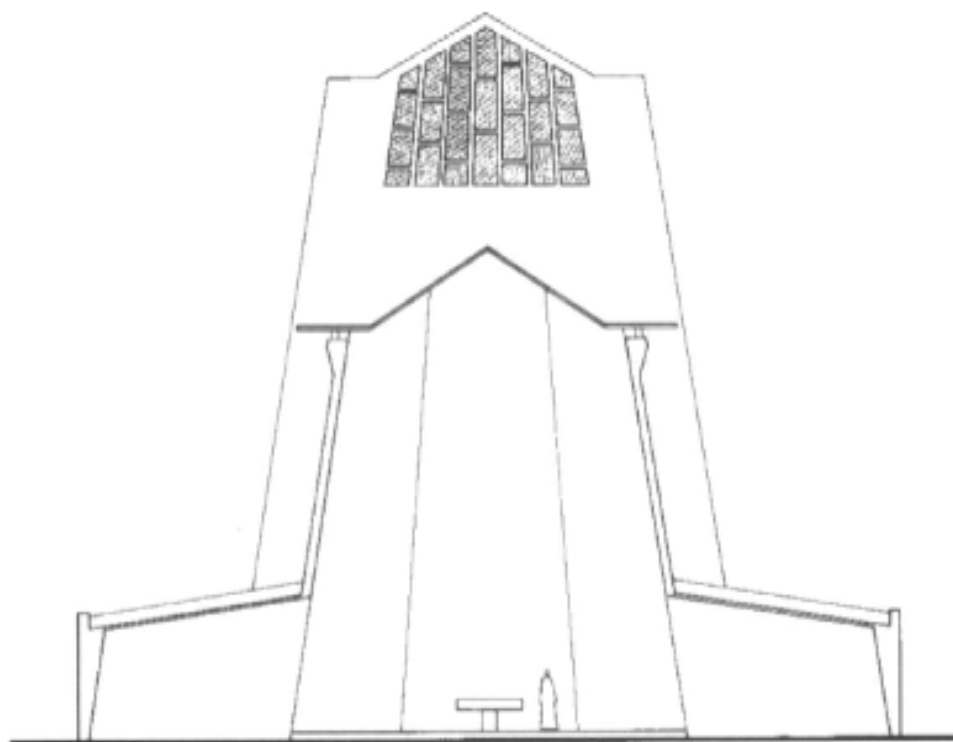


Figura 4.32 - Corte transversal da Igreja de Durazno.

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

Os efeitos perspectivos enfatizados pela inclinação das paredes aumentam a impressão interior de tamanho e o arranjo espacial das lâminas produz uma sensação intencional de calma e grandiosidade condizentes com um espaço religioso. A Figura 4.33 mostra uma vista interior geral da Igreja de Durazno.

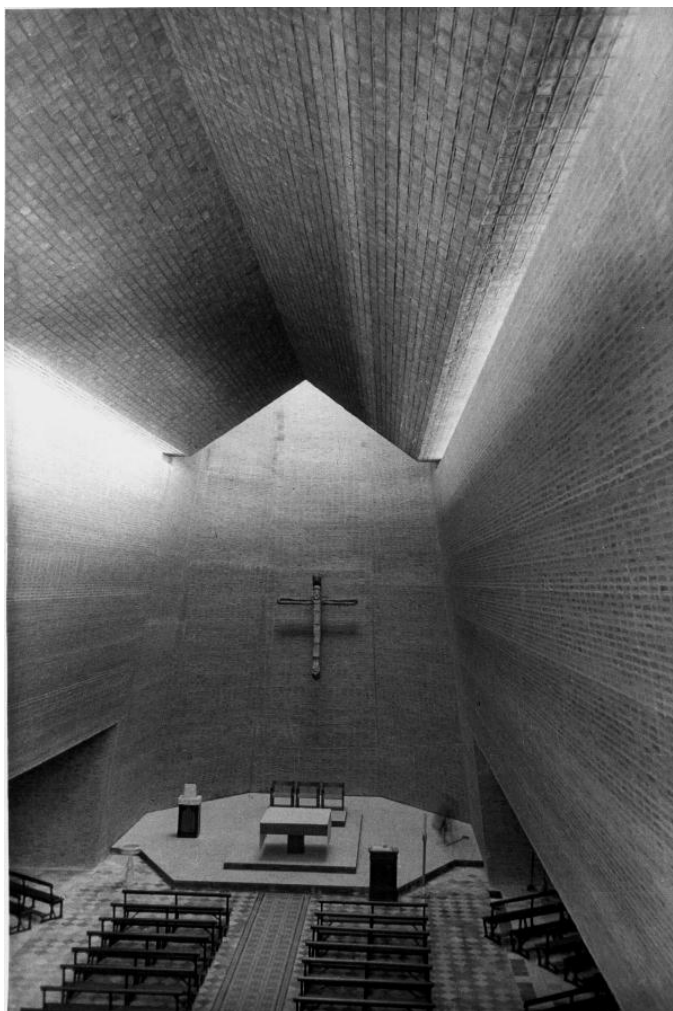


Figura 4.33 - Vista interior geral de Durazno.

Os planos que conformam as paredes laterais da nave central prolongam-se no espaço da torre do presbitério buscando uma unidade entre o espaço dos fiéis e o altar. Esta solução integra os participantes da cerimônia da mesma maneira como ocorre na Igreja de Atlantida, embora a composição formal seja completamente distinta.

A torre do presbitério, uma consequência da igreja existente, foi solucionada em forma tronco-piramidal, e é constituída por cinco planos que formam com o piso um ângulo de 80 graus. A Figura 4.34 mostra uma vista desta torre.

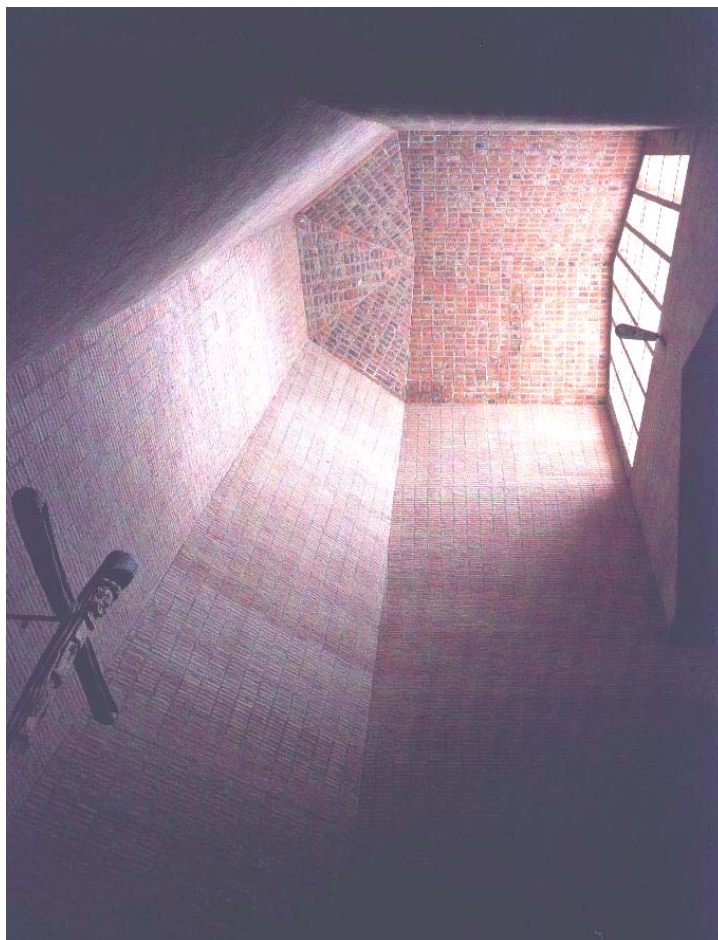


Figura 4.34 – Vista interior da torre do presbitério de Durazno: planos angulares.

Em termos de projeto, a última decisão a ser tomada foi a solução da rosácea. A ideia inicial era de se manter a fachada interna que possuía uma janela retangular de ferro, dividida por pilares metálicos que suportavam a torre frontal. Por ser considerada por Dieste uma visão pouco agradável para os fiéis ao deixarem a igreja após a cerimônia, decidiu por modificá-la. Após três meses de maturação, estudos variados de forma e de proporção, Dieste apresentou a solução formal da rosácea acompanhada da solução construtiva (CASTRO, 2003).

A rosácea é composta por uma série de cinco diafragmas dispostos em forma de hexágonos irregulares concêntricos. A janela externa da fachada original não é visível internamente através da rosácea, embora permita a entrada de luz que penetra na Igreja pelos vazados da rosácea.

A Figura 4.35 mostra uma visão pelo interior da Igreja de Durazno da parede na qual está localizada esta rosácea.

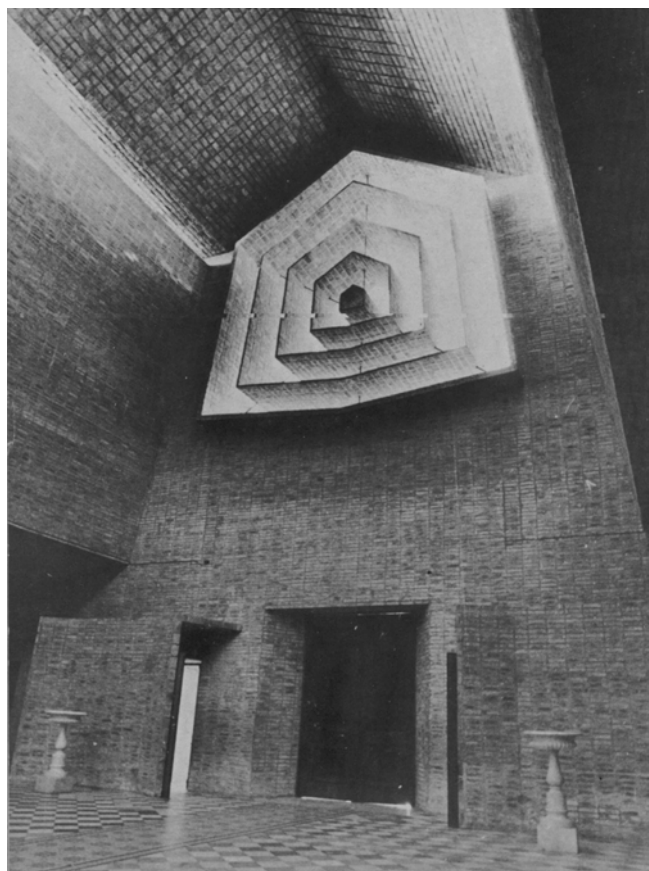


Figura 4.35 - Fachada interna de Durazno: vista dos fiéis ao sair da Igreja.

As obras de Dieste transcendem várias atmosferas e dimensões como a espiritual, a espacial e a temporal, expressas através da releitura e reinterpretação da potencialidade e utilização de um material tradicional. De maneira moderna e tecnicamente sofisticada e apropriada para as necessidades e recursos do Uruguai, transforma-se em inovação no sentido da exploração da forma, do uso dos materiais, da textura e da luz. O próximo item deste Capítulo descreve e analisa as decisões arquitetônicas adotadas por Dieste em obras representativas de seu trabalho.

4.5 Material, textura e iluminação natural

Os aspectos relativos à definição e ao tratamento do material empregado, às soluções de textura de acabamento e à exploração da iluminação, principalmente da luz natural, são definitivas no processo de projeto arquitetônico. A preocupação com a composição e a expressividade na proposta arquitetônica de Dieste pode ser notada pela exploração de diferentes texturas de superfícies com o uso do mesmo material.

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

Sempre que possível e em função do tipo e do porte da obra, Dieste optava pela utilização de tijolos maciços de pequenas fábricas. Embora estas peças possuísem resistência média mais baixa do que os blocos furados e falta de controle dimensional, elas eram preferidas por serem heterogêneas e permitirem a geração de superfícies menos monótonas, mais vivas e mais agradáveis à vista (LARRAMBEHERE, 2003).

A Figura 4.36 mostra uma foto de uma peça cerâmica maciça, onde é possível notar esta irregularidade preferida por Dieste.



Figura 4.36 – Tijolo maciço de pequenas fábricas do Uruguai: irregularidade.

A Figura 4.37 mostra duas superfícies com resultados bem distintos. Embora o material utilizado seja semelhante, o tijolo cerâmico maciço como o mostrado na Figura 4.36, o resultado diferenciado de textura é consequência de preocupação e de detalhamento executivo na colocação das peças. A Figura 4.37 (a) mostra a textura rugosa conseguida pela colocação dos tijolos em planos paralelos ao piso e a Figura 4.37 (b) mostra um detalhe da textura lisa dos tijolos dispostos em um plano inclinado ao piso.



(a) textura rugosa



(b) textura lisa

Figura 4.37 - Detalhes de superfícies com acabamento em diferentes texturas: a estética na aplicação do material.

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

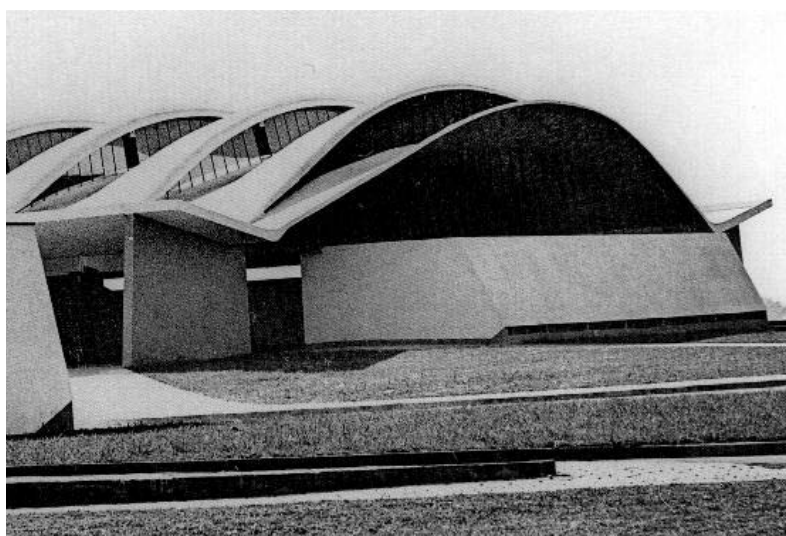
Dieste explora a textura, a cor e o brilho do material cerâmico através de iluminação sempre difusa e indireta. Os diferentes padrões das peças especificadas para as superfícies que formam as paredes e a cobertura são realçados por este efeito de iluminação, refletindo a luz e criando diferentes efeitos cromáticos.

A exploração da iluminação natural pode ser notada tanto em obras religiosas como em obras utilitárias. Como exemplos de recursos adotados podem ser citados a criação de janelas na cobertura, o desnivelamento entre as abóbadas e a criação de pérgulas.

A Figura 4.38 mostra o uso de janelas na cobertura em abóbadas de curvatura dupla. A Figura 4.38 (a) mostra uma série de janelas na cobertura do *Montevideo Shopping*, no Uruguai e a Figura 4.38 (b) mostra a fachada do Pavilhão dos Produtores do CEASA, em Porto Alegre, exemplos de solução adotada em muitas de suas obras pela modificação da forma básica da abóbada de curvatura dupla. Esta solução resulta em iluminação uniforme e bem distribuída por toda a área coberta.



(a) Montevideo Shopping



(b) Pavilhão dos Produtores do CEASA em Porto Alegre

Figura 4.38 - Soluções de iluminação pela cobertura: modificação da forma básica da abóbada de curvatura dupla.

A Figura 4.39 mostra a exploração da iluminação e da ventilação natural pela solução de desnivelamento das abóbadas autoportantes da cobertura, sendo 4.38 (a) os Hangares do Metrô do Rio de Janeiro e 4.38 (b) a cobertura da Agroindústria Massaro, no Uruguai.



(a) Hangares do Metro do Rio de Janeiro



(b) Agroindústria Massaro

Figura 4.39 - Soluções de iluminação: desnivelamento das abóbadas autoportantes.

A Figura 4.40 mostra a utilização de grandes vazados nas abóbadas, configurando pérgulas para o aproveitamento da luz solar. Este recurso foi adotado nos projetos da casa de Dieste e da Casa Paroquial de Malvin para áreas de jardim de inverno, com vegetação caduca, permitindo insolação no inverno e sombreamento no verão.



(a) Casa de Dieste



(b) Casa paroquial da Igreja de Malvin

Figura 4.40 – Soluções de iluminação: uso de pérgulas em abóbadas autoportantes.

O uso da iluminação natural nos projetos de Igrejas de Dieste constitui num ingrediente insubstituível de expressão. A luz é dirigida a pontos estratégicos como atraída por magnetismo, fundindo-se aos materiais e tornando-se parte deles. Desta forma, buscou-se simular e anunciar a presença divina (DIESTE, 2003 a).

Os próximos itens deste Capítulo tratam da análise das Igrejas de Atlantida e Durazno no que se refere ao uso do material, ao tratamento da textura e da iluminação natural.

4.5.1 Igreja do Cristo Obrero em Atlantida

A abóbada da cobertura da Igreja de Atlantida foi revestida por uma capa interior formada por peças de cerâmica de 12 x 25 x 3 cm. A razão para utilização da capa interior é puramente conceitual e compositiva, buscando uma suavidade da superfície condizente com um espaço religioso. As dimensões reduzidas permitiram o seguimento da curvatura das abóbadas com maior fidelidade. As peças estão dispostas bem próximas umas das outras, com juntas de pouca espessura (CASTRO, 2003).

Cuidado especial foi tomado durante a execução para a limpeza imediata das peças cerâmicas da capa interna, após a retirada do molde. Estes procedimentos intencionais acentuam o efeito de continuidade das ondas das abóbadas, com textura plana, que contrasta com a massa de textura mais rústica formada pelas paredes portantes, embora apresentem uma similaridade de cor do material cerâmico.

A Figura 4.41 mostra em detalhe o procedimento de limpeza das peças quando da execução da abóbada.



Figura 4.41 - Limpeza das peças cerâmicas: cuidados no acabamento interno.

Para conseguir a textura praticamente plana, de acabamento rústico, para as superfícies das paredes regradas, os tijolos foram colocados uns sobre os outros, em um plano horizontal inclinado em relação ao plano do piso, de maneira que a face lateral das paredes configurasse uma superfície mais lisa e contínua. A Figura 4.42 mostra em detalhes a textura da parede lateral acabada.

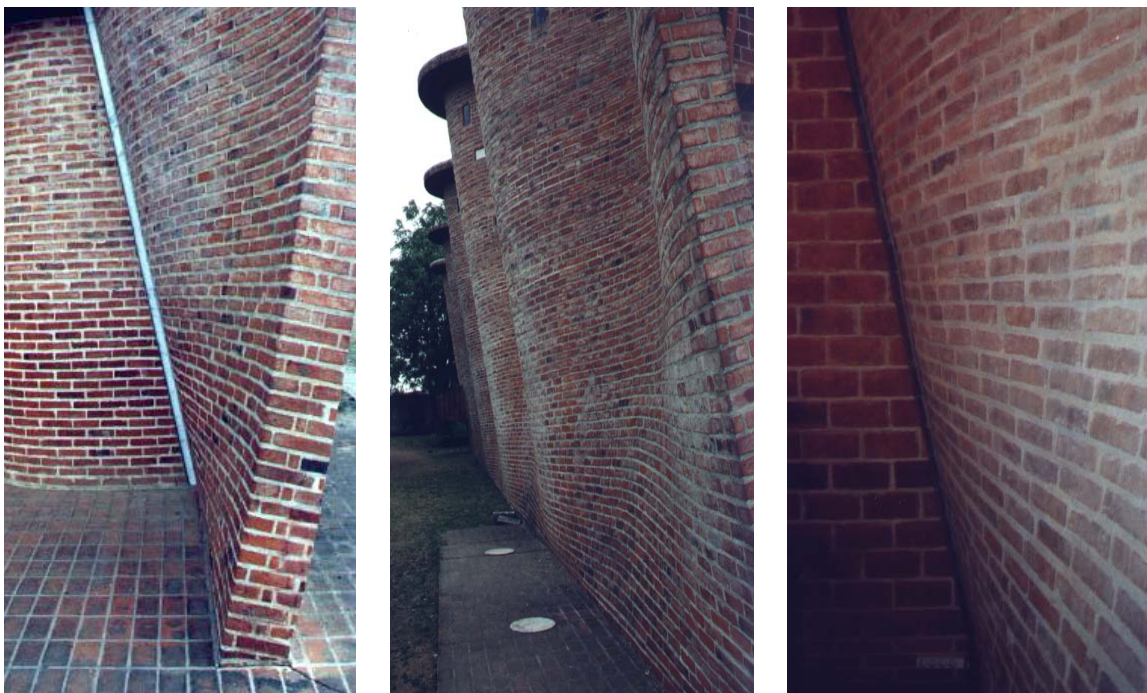


Figura 4.42 - Superfícies das paredes de Atlantida: textura rústica e plana.

A solução formal das paredes laterais evidencia ainda uma nova idéia de parede com uma superfície mais suave e plana ao nível do solo que, à medida que se eleva, torna-se mais ondulada, ondulação esta acentuada pela iluminação.

Na intenção de realçar o simbolismo do Cristo crucificado, Dieste planejou textura e iluminação especiais para a parede de fundo do altar-mor. Buscou-se criar a impressão de que o altar era iluminado por chamas de fogo, numa forma de simbolizar o amor de Deus pelos humanos (DIESTE, 2003 a).

Foi construído uma espécie de painel, com tijolos cerâmicos colocados de topo, desencontrados, formando-se uma superfície bastante rugosa iluminada pela janela horizontal que permite a entrada de luz por baixo. Na parede do altar encontra-se uma estátua de Cristo esculpida especialmente para esta Igreja por Eduardo Yepes. Este escultor espanhol era amigo pessoal de Dieste e autor de várias esculturas e monumentos dispostos em Montevideu.

A Figura 4.43 mostra uma vista do Cristo no altar da Igreja de Atlantida, com os efeitos de iluminação natural através da luz que incide pela janela horizontal disposta na parede do fundo, e de textura da parede do fundo pela colocação dos tijolos. Nesta foto é possível identificar a exploração da expressividade pelo uso de um mesmo material, o tijolo cerâmico, com elementos de variadas texturas, cores e tamanhos.

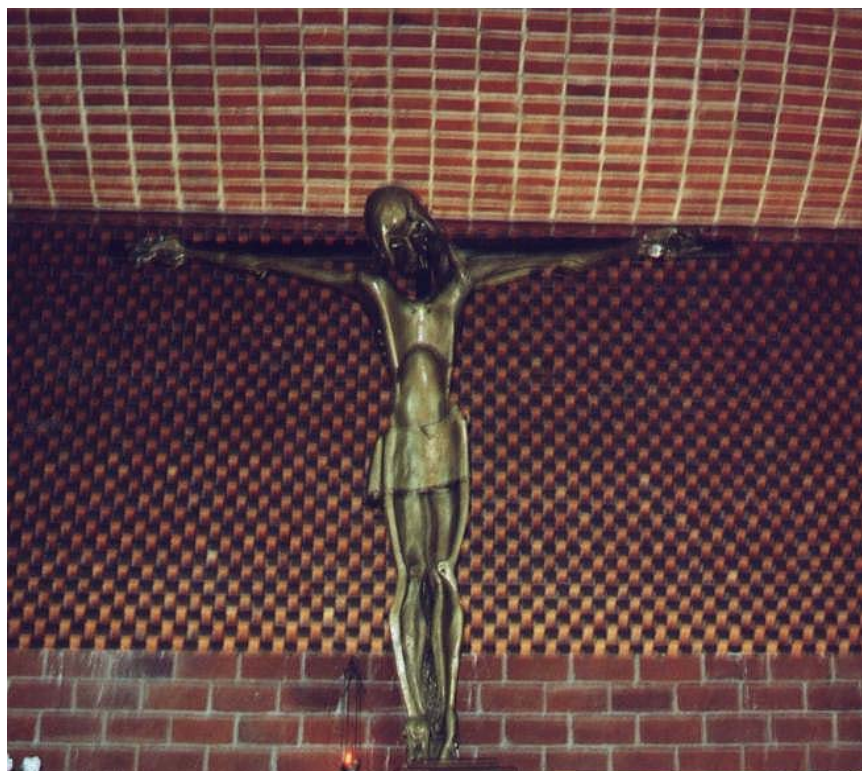


Figura 4.43 – Imagem de Cristo no altar de Atlantida: expressividade através de efeitos de iluminação e textura.

O sistema de iluminação natural adotado por Dieste para a Igreja de Atlantida é composto por aberturas pequenas e limitadas, direcionando a entrada de luz de forma estudada e moderada e buscando dramatizar o ambiente através da exploração da entrada de luz direta e indireta. Considerou-se a orientação da obra e várias experimentações relativas ao tamanho e às cores dos vidros foram feitas durante a execução, em busca do efeito de luz desejado (CASTRO, 2003; DIESTE, 2003 a).

Nota-se basicamente quatro tipos de iluminação natural nesta igreja. O primeiro de efeitos especiais criados pela janela horizontal que permite a entrada de luz por baixo, iluminando o altar-mor, mostrado na Figura 4.38. Como a igreja possui orientação norte-sul, foi explorada a luz rasante e sem variação que incide na parede posterior.

O segundo é formado pelas pequenas janelas dispostas no terço superior das paredes, permitindo a entrada de luz lateralmente à direção do altar-mor, por trás da assembléia. Para a obtenção do efeito místico e de ambientação desejados, foram testadas pelo próprio Dieste, no local, várias possibilidades de dimensões, posicionamentos e cores antes da definição final. Inicialmente, foram adotadas as

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

cores primárias para os vidros destas janelas, embora, atualmente, a maioria já tenha sido substituída por terem sido destruídos.

A Figura 4.44 mostra o efeito conseguido para a iluminação da nave por estas pequenas janelas.

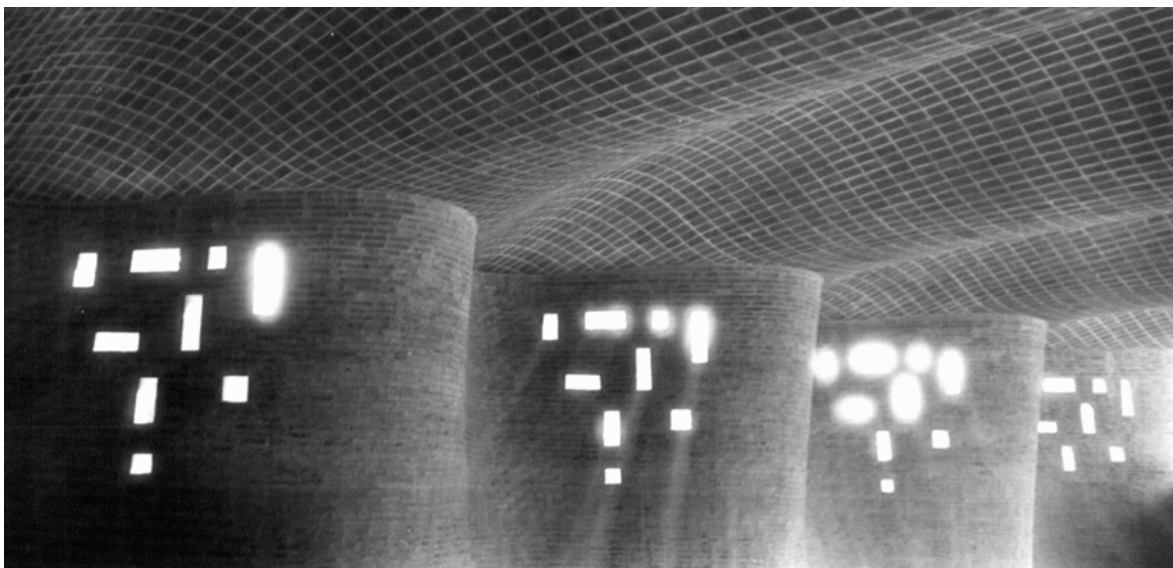


Figura 4.44 - Paredes laterais da nave de Atlantida: efeitos de iluminação.

O terceiro tipo de iluminação é através da fachada frontal. Foram dispostos pára-sóis diagonalmente à parede na parte superior, onde está localizado o coro, que são vedados por placas de ônix translúcido, e que jogam luz indireta na assembléia. A Figura 4.45 mostra em detalhes interno e externo estes pára-sóis.



Figura 4.45 - Iluminação do coro de Atlantida: detalhes interno e externo.

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

Para complementar a iluminação através desta fachada, foi criada uma faixa de luz estreita entre a parede frontal e as paredes laterais onduladas. Mais do que iluminação, esta solução foi adotada para expressar e transmitir uma filosofia de comportamento estrutural expressa através da expressividade formal, preocupação constante de Dieste. Com esta faixa, Dieste solta as duas lâminas que formam as paredes frontal e as laterais mostrando claramente que são estruturas independentes. A Figura 4.46 mostra um detalhe desta iluminação pelas vistas interna e externa.

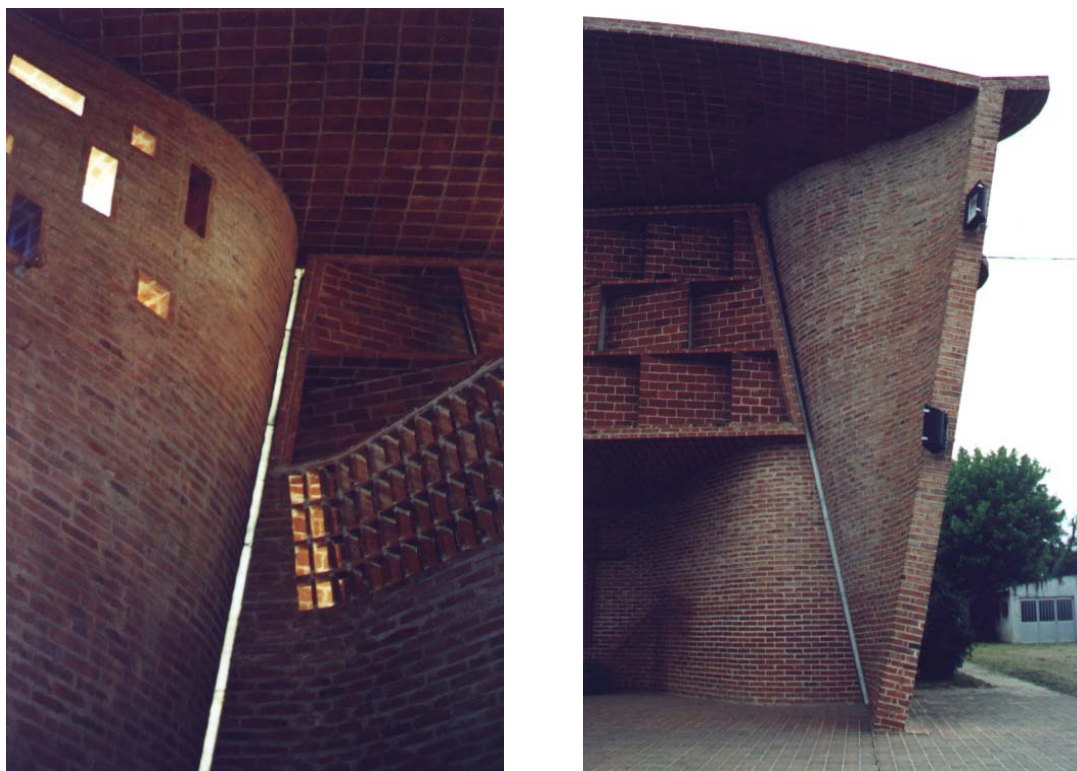


Figura 4.46 - Faixa de luz em vistas interna e externa: expressão do comportamento estrutural.

O quarto tipo de iluminação é uma zenital formada por perfurações circulares na abóbada ondulada, localizada estrategicamente sobre o altar-mor. Esta solução para iluminação da nave central pode ser classificada como uma releitura arquitetônica pela utilização de vasos cerâmicos cilíndricos, sem fundo, fundidos na abóbada da cobertura e fechados posteriormente por elemento translúcido, para servir de clarabóia.

A Figura 4.47 mostra, em detalhe, a fase de execução deste elemento de iluminação, quando da construção da cobertura da Igreja de Atlantida e a vista interior depois de concluído.

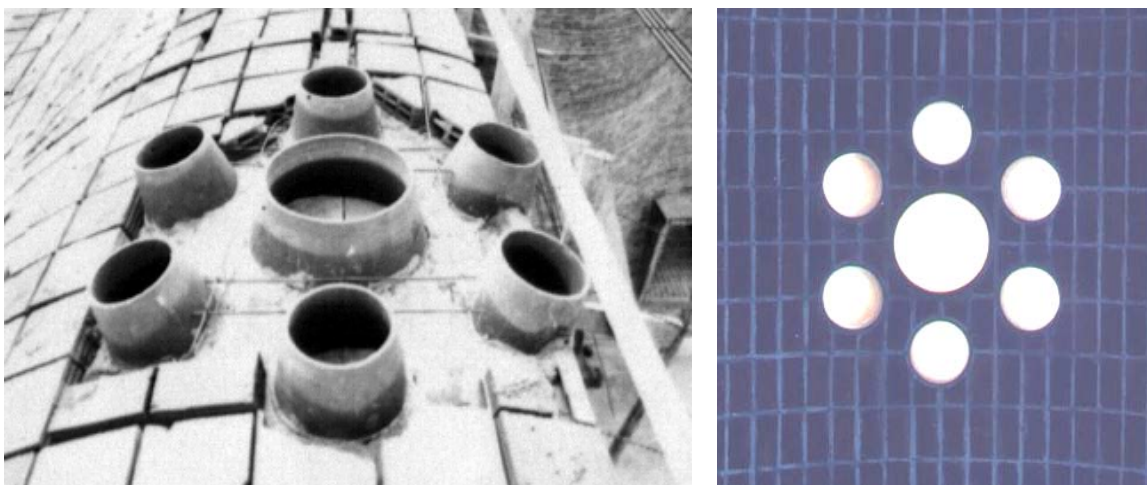


Figura 4.47 – Iluminação zenital da nave central de Atlantida: detalhe de execução e vista interna acabada.

A iluminação artificial no interior da Igreja foi prevista em projeto através de instalações não aparentes alocadas abaixo de cada uma das janelas, entre as camadas interna e externa de tijolos. A intenção de Dieste foi de que o efeito causado pela iluminação artificial fosse semelhante à iluminação diurna (DIESTE, 2003 b).

4.5.2 Igreja de *San Pedro* em Durazno

As características de espaço, luz, cor, textura e acabamento apresentam-se integradas na Igreja de Durazno, não podendo ser descritas ou analisadas de forma individual. Para esta Igreja, Dieste concebeu uma forma única e inovadora para atender à demanda do projeto, uma Igreja que após sofrer um incêndio restou intacta apenas a fachada frontal.

A idéia inicial para integração da fachada antiga ao novo espaço era descascar a parede frontal interior para manter uma unidade com o corpo da igreja construída em tijolos de cerâmica. No entanto, após a construção do corpo da igreja esta fachada destoou-se da composição geral por possuir uma janela retangular de ferro muito feia na concepção de Dieste (CASTRO, 2003). Dieste propôs uma janela interna em forma de rosácea, para a qual foi necessária a execução de um pórtico de concreto na parede estrutural, na qual descarregavam as estruturas em planos, que foi revestido em tijolos cerâmicos, mesmo material utilizado para o restante da obra. Desta forma, buscou-se uma integração entre a textura dos materiais. Os aspectos construtivos deste pórtico são discutidos no Capítulo 5 deste trabalho.

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

Como sistema de iluminação, podem ser descritas três entradas de luz principais. A primeira é uma janela construída no alto na torre do presbitério que permite uma iluminação bastante variável entre o verão e o inverno devido ao ângulo de penetração da luz. Esta janela, que não é vista pelos fiéis da assembléia, ilumina o fundo do altar, marcando e definindo o espaço destinado ao sacerdote, acentuado pela altura da torre do presbitério e focando a luz para a imagem do Cristo.

Esta janela é formada por um sistema de retas verticais e horizontais. Apresenta uma característica comum em outras obras de Dieste, observada também nas torres e tanques, que prioriza a verticalidade para acentuar e destacar a altura. As linhas verticais não são totalmente paralelas, trabalham em função de um ponto de fuga e as linhas horizontais são secundárias e descontínuas.

A Figura 4.48 mostra uma vista do espaço do altar, com detalhe para o desenho formado pela luz que entra através da janela e iluminação do Cristo.

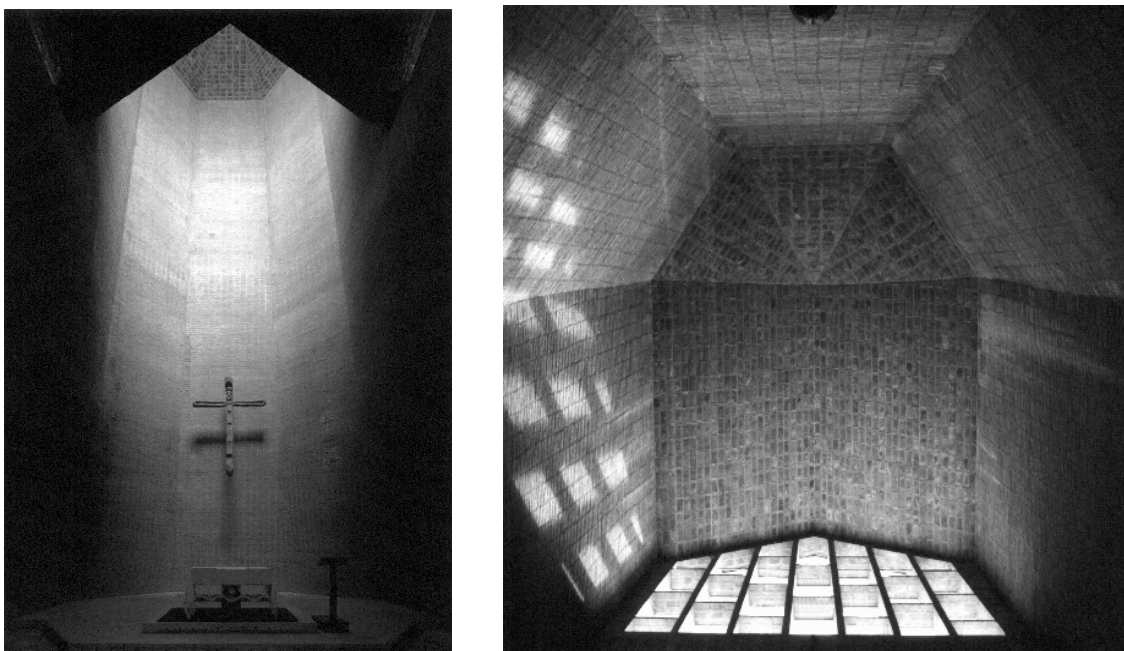


Figura 4.48 - Torre do presbitério da Igreja de Durazno: efeitos de iluminação.

A Figura 4.49 mostra dois estudos elaborados para a definição da janela da torre do presbitério, através dos quais é possível notar a preocupação de Dieste com a expressividade da forma e os efeitos de iluminação natural em seus ambientes.

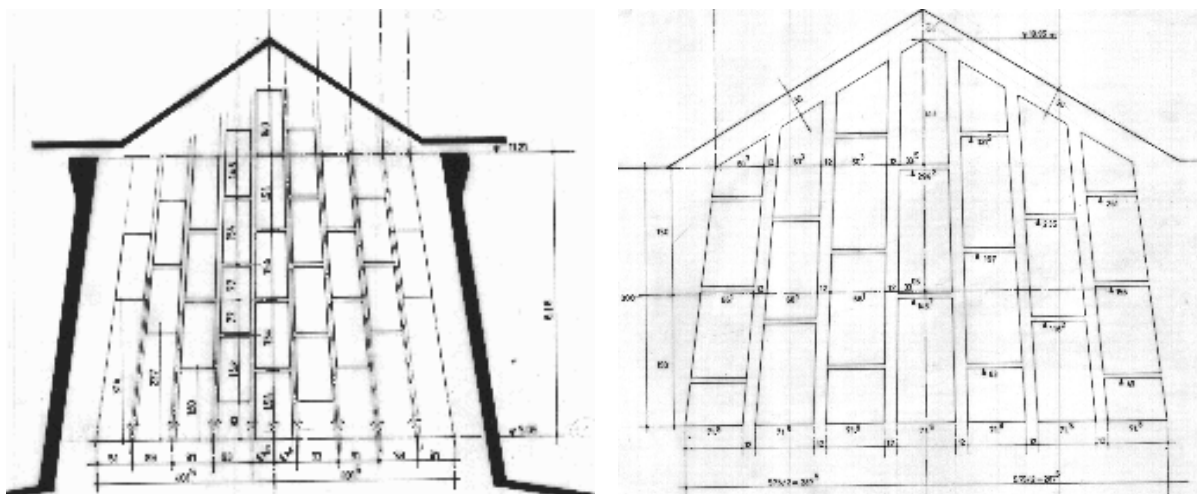


Figura 4.49 - Estudos realizados para a janela da torre do presbitério de Durazno: expressividade formal e efeitos de iluminação natural.

A segunda entrada de luz pode ser descrita como dois rasgos longitudinais e simétricos dispostos entre as paredes e a cobertura da nave principal. O efeito criado por esta janela entre as superfícies em planos que conformam a nave principal é o de que uma lâmina de luz separa as estruturas do teto e das paredes, mostrando toda a independência estrutural entre elas. Esta iluminação acentua a textura das paredes e da cobertura, ao mesmo tempo, definindo e integrando os planos e criando uma unicidade para o espaço.

A Figura 4.50 mostra em detalhe a iluminação através dos rasgos entre a cobertura e as paredes laterais da nave central da Igreja de Durazno.



Figura 4.50 - Efeito de iluminação de Durazno: rasgos de luz na cobertura.

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

A terceira entrada de luz é formada pela rosácea de hexágonos concêntricos irregulares, compostos por lâminas de tijolos cerâmicos. Os lados destas lâminas estão dispostos paralelamente à parede da nave e ao teto e possuem profundidade suficiente para suavizar a luminosidade transformando-a em um brilho constante. A surpresa causada por esta rosácea expressa uma elevada qualidade arquitetônica, estrutural e de tecnologia construtiva. A claridade que atravessa esta janela, mais que uma iluminação difusa, expressa uma simbologia religiosa presenteando aos que deixam a igreja com uma rosa de luz.

Segundo Dieste, para Durazno o que se tinha na cabeça era muito menos importante do que o resultado que se obteve com os efeitos da luz, de como esta penetra pela rosácea, pelas aberturas entre superfícies em planos, pela janela na parede do presbitério e os desenhos que faz nas diversas paredes. “Esta foi, creio, uma preocupação ética, pensar no próximo e na sensação das pessoas após a cerimônia, entre a possibilidade de ver uma janela feia de ferro ou uma rosácea de luz. Para mim a ética resume-se em se ter uma atitude na qual o homem se realize profundamente” (ELADIO..., 1997). Esta rosácea tornou-se um dos símbolos que identificam a arquitetura de Dieste. A Figura 4.51 mostra a rosácea da Igreja de Durazno.



Figura 4.51 – Rosácea da Igreja de Durazno: símbolo da obra de Dieste.

4.6 Considerações finais

Existem poucos registros de seguidores da proposta arquitetônica e construtiva desenvolvida por Eladio Dieste.

No Uruguai, devido à crise econômica que dominou o país nos últimos anos, o custo das cascas cerâmicas que, entre as décadas de 60 a 90, foi muito baixo tornou-se insustentável nos últimos anos. Agravado pelo recolhimento e posterior falecimento de Dieste, o escritório *Dieste y Montañez* atravessou um período crítico de falta de projetos e de obras. Somente no ano de 2003, favorecido pelo início de restauração da estabilidade econômica do país, a empresa recuperou suas atividades, podendo manter-se ativa no mercado. Dentre os trabalhos que vem desenvolvendo, além de orçamentos variados, inclusive para as cascas em cerâmica armada, inclui-se um depósito de grãos para o Porto de Nova Palmira, Uruguai, em casca de concreto.

A Figura 4.52 mostra os silos verticais e horizontais executados pela *Dieste y Montañez*, em Nova Palmira, em diferentes épocas, empregando tecnologia em cerâmica armada e em casca de concreto, sendo que os quatro verticais foram terminados em maio de 2004.

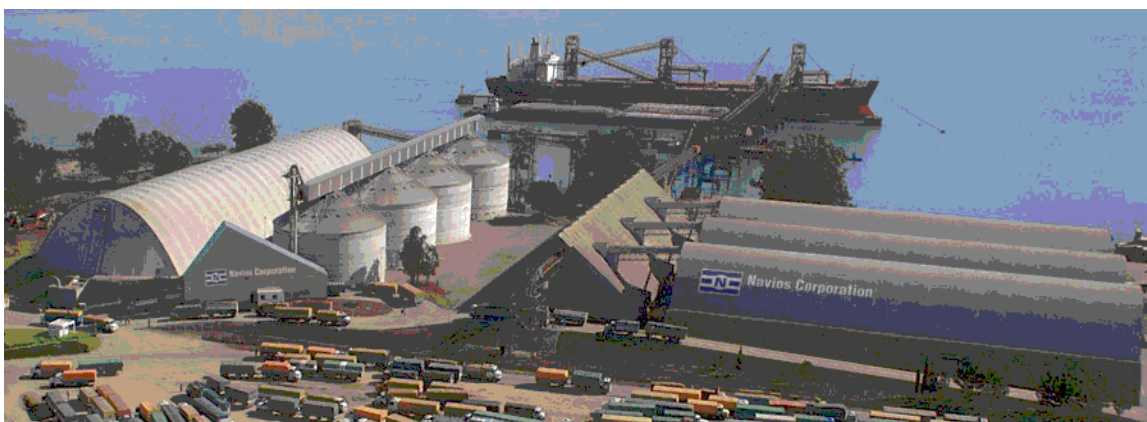


Figura 4.52 – Silos executados por *Dieste y Montañez*, Uruguai.

Um dos profissionais que teve a oportunidade de trabalhar na empresa *Dieste y Montañez* e prosseguiu utilizando e desenvolvendo a tecnologia construtiva em cerâmica armada é o engenheiro uruguaio Ariel Valmaggia. Ariel trabalhou no Uruguai entre 1974 e 1977 e no período de 1977 a 1982 trabalhou na filial da empresa no Brasil. A partir do fechamento desta filial, prosseguiu projetando e executando obras em cerâmica armada, utilizando as técnicas construtivas desenvolvidas por Dieste, explorando formas e estruturas e disseminando essa tecnologia. Em 1998, Ariel mudou-se para os Estados Unidos, onde continua a exercer a profissão e a divulgar

4 – A proposta arquitetônica de Eladio Dieste: identificação e análise dos aspectos relevantes

este processo construtivo. A Figura 4.53 mostra algumas das obras projetadas e construídas por Ariel Valmaggia, no Brasil.



(a) Banco do Brasil, Olinda



(c) Ginásio Conceição, Recife



(b) Igreja Conceição, Recife



(d) Concessionária SAEL, Recife



(e) Monumento às Nações Indígenas, Campo Grande

Figura 4.53 – Exemplos de obras em cerâmica armada por Ariel Valmaggia, no Brasil.

As obras de Dieste expressam sua preocupação com a forma, as relações e proporções entre as dimensões e a disposição dos elementos construtivos, a utilização do espaço, os materiais, a iluminação e as cores.

No processo de projeto de Dieste, o caminho adotado foi em função da necessidade de vencer grandes vãos, de exploração da luz natural, da utilização de material e tecnologia local, da economia e da rapidez de execução. A arquitetura em seu trabalho aconteceu como decorrência da solução estrutural, explorada a partir da necessidade de fechar e cobrir espaços com a tecnologia disponível. O profundo conhecimento desta tecnologia e da prática tradicional utilizada, na época, na Região do Rio da Prata, como a utilização de laje plana, característica de construções mediterrâneas, e da abóbada de tijolos cerâmicos, possibilitou a qualidade da elaboração de suas obras no que se refere à engenharia e à arquitetura.

Sua filosofia baseava-se em que aquilo que estivesse corretamente projetado de acordo com o ponto de vista da engenharia era belo, o que não estivesse era intrinsecamente feio. A qualidade de um projeto estava relacionada aos requisitos técnicos, espaciais e compositivos representado pela harmonização entre as estruturas, as lâminas e as cascas bem projetadas na natureza (LARRAMBEBERE, 2003).

No próximo Capítulo deste trabalho é apresentada a tecnologia construtiva desenvolvida por Eladio Dieste com ênfase na exploração da potencialidade da forma através de tipologias e do processo de produção de suas construções.

A tecnologia construtiva nas obras de Eladio Dieste: tipologias, detalhes construtivos e processo de produção

Considerações iniciais

A revisão apresentada no Capítulo 2 deste trabalho mostrou, ao longo da história, o interesse de arquitetos, engenheiros e profissionais da área por propostas alternativas para a Construção Civil. Desenvolvendo posições críticas às correntes ou tendências, esses profissionais têm colaborado para a melhoria da qualidade do ambiente construído com tecnologia e processos construtivos que, muitas vezes, resultam em sistemas inovadores.

A linguagem construtiva única desenvolvida por Dieste caracteriza-se pela superfície formal das estruturas em alvenaria armada e baseia-se em teoria estrutural e métodos construtivos contemporâneos. O desafio das idéias existentes, explorando seus princípios básicos e o uso da tecnologia e das convenções empíricas de engenharia estrutural e construtiva configura seu trabalho como inovador. Além de uma filosofia construtiva com características e tipologias contemporâneas, e baseada na exploração da potencialidade da forma e dos materiais, foram desenvolvidas muitas técnicas construtivas significativas, como as de protensão (PEDRESCHI, 2000).

Este trabalho focaliza as interações entre as propostas arquitetônica, estrutural e construtiva desenvolvidas por Eladio Dieste para diferentes tipologias. Este capítulo tem por objetivo identificar os métodos construtivos utilizados nas suas obras, identificar as tipologias das construções nas quais esses métodos foram aplicados e analisar a potencialidade desses métodos construtivos, considerando sempre as interações entre os aspectos arquitetônicos e estruturais. São apresentados os parâmetros e procedimentos do processo de produção de forma sintetizada. Os métodos de cálculo e as especificações do projeto estrutural empregados por Dieste não fazem parte do escopo deste trabalho e podem ser encontrados em Sevilla (1996).

As obras aqui discutidas são ordenadas como tentativa de revelar certos princípios, propostas teóricas e técnicas utilizadas para que possam ter uma aplicação mais ampla no contexto da alvenaria estrutural. As obras da Igreja de Atlantida e da Igreja

de Durazno são analisadas mais detalhadamente por serem consideradas representativas sobre o enfoque tipológico, por sua importância e pela complexidade de detalhes arquitetônicos, estruturais e construtivos.

A primeira experiência bem sucedida na utilização de abóbadas constituídas em tijolos cerâmicos para a solução de uma residência no final da década de 40 - Casa Berlinghieri - levou Dieste a iniciar sua pesquisa e definiu uma das características fundamentais de todo o seu trabalho: a utilização do material cerâmico na construção de estruturas armadas.

5.1 O material cerâmico

A opção pelo material cerâmico foi um determinante da obra de Dieste. Desde sua primeira solução para a cobertura em abóbada de tijolo (Figura 4.1), a filosofia construtiva de Dieste ficou caracterizada pelo emprego da cerâmica armada aliada à utilização de moldes móveis. Este tipo de molde mostrou-se mais eficaz para a cerâmica armada do que para as cascas de concreto.

A experiência dos trabalhos realizados e suas reflexões pessoais mostraram-lhe que o caminho escolhido era fértil. O material cerâmico é de baixo custo, se comparado a outros de mesmas características mecânicas, e pouco exigente no que se refere à especialização da mão de obra.

Observa-se, a partir de então, a utilização de uma nova tecnologia construtiva oriunda da tradição de se construir com tijolos cerâmicos no Uruguai. Trata-se da apropriação de técnicas consagradas através de experiência e da recriação dos processos construtivos, permitindo combinações técnicas e formais, colocando a indústria, a tecnologia e a inovação a serviço do homem.

De acordo com Dieste (1987), as razões para utilização do material cerâmico podem ser descritas como:

- a) Blocos cerâmicos de qualidade e alta resistência mecânica podem ser encontrados, a preços acessíveis, em vários países, como Argentina, Uruguai e Brasil. Em países industrializados encontravam-se, já àquela época, peças com resistência de até 15 MPa;
- b) A leveza das unidades cerâmicas é maior do que a de blocos de concreto. Essa leveza é mantida para a estrutura completa, considerando grandes

dimensões, se comparada às estruturas em concreto armado ou ferrocimento;

- c) Com igual resistência, blocos cerâmicos apresentam menor módulo de elasticidade do que o de concreto, conferindo à estrutura uma maior adaptabilidade a deformações. O risco de flambagem pode ser evitado empregando-se soluções como as utilizadas nas abóbadas gaussianas sem representar aumento significativo de peso ou de custo;
- d) Estruturas cerâmicas são, em geral, mais duráveis que as de concreto, além do fato de resistirem melhor às mudanças bruscas de temperatura;
- e) Reparos, mudanças ou acréscimos são menos visíveis em estruturas cerâmicas do que em estruturas de concreto sem revestimento;
- f) Maior isolamento térmico pode ser obtido com o uso de material cerâmico, acrescido à possibilidade de melhoria do isolamento pelo uso de blocos furados;
- g) Melhor comportamento acústico do material e facilidade de execução de soluções com formas mais apropriadas acusticamente;
- h) Capacidade maior de regulação natural da umidade ambiente;
- i) A superfície cerâmica, se comparada às de concreto, reflete menos calor no verão e absorve menos no inverno;
- j) O custo por metro cúbico de material e/ou da estrutura global, em geral, é menor se comparado a outro material que ofereça a mesma qualidade.

5.2 Tipologias e tecnologia construtiva

As obras e projetos de Eladio Dieste podem ser classificadas em tipologias como: abóbadas gaussianas ou de curvatura dupla e abóbadas autoportantes de diretriz catenária¹, superfícies regradas e superfícies em planos. São tipologias próprias que possuem em comum a exploração do potencial da forma arquitetônica executada com o material cerâmico com comportamento estrutural.

¹ A diretriz catenária é definida pelo coseno hiperbólico de x , expresso pela equação $y = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$

Do ponto de vista da tecnologia, uma das principais características da obra de Eladio Dieste era a busca do domínio da técnica para novas tipologias de estruturas de cerâmica armada, através do planejamento e fabricação dos equipamentos que tornariam sua execução economicamente viável, e do desenvolvimento dos métodos de cálculo, embasados nas teorias em uso.

O cálculo requintado era utilizado para o ajuste e refinamento das formas estruturais a que se chegou através da intuição e para a racionalização das técnicas de execução de diferentes tipos de abóbadas, cascas e lâminas (SEVILLA, 1996).

A necessidade de desenvolver os processos construtivos levou Dieste a construir e/ou adaptar os equipamentos para estacas de fundação, sistemas de protensão e sistemas motorizados para moldes móveis.

Para um melhor entendimento dos métodos construtivos empregados são analisadas as características, os princípios básicos, a tecnologia construtiva e as etapas construtivas para cada tipologia, separadamente.

5.2.1 Tipologias em abóbadas

A primeira abóbada em cerâmica armada executada por Dieste foi uma casca cilíndrica que transferia os esforços para vigas de concreto cujos empuxos eram resistidos por tirantes de aço comum.

A Figura 5.1 mostra um detalhe da Casa Berlinghieri, na qual a solução adotada para suportar os esforços da abóbada autoportante em cerâmica armada foi a utilização de tirante.



Figura 5.1 - Detalhe de abóbada autoportante em cerâmica armada: utilização de tirante.

O artigo *Bóveda Nervada de Ladrillos «de Espejo»* (DIESTE, 1947) descreve os primeiros casos onde foram utilizados tijolos cerâmicos para solução de cobertura em abóbadas. A Figura 5.2 mostra, em detalhe, o corte transversal das abóbadas de seis metros de vão nas quais foram dispostos duas armaduras de aço de 4 mm cada.

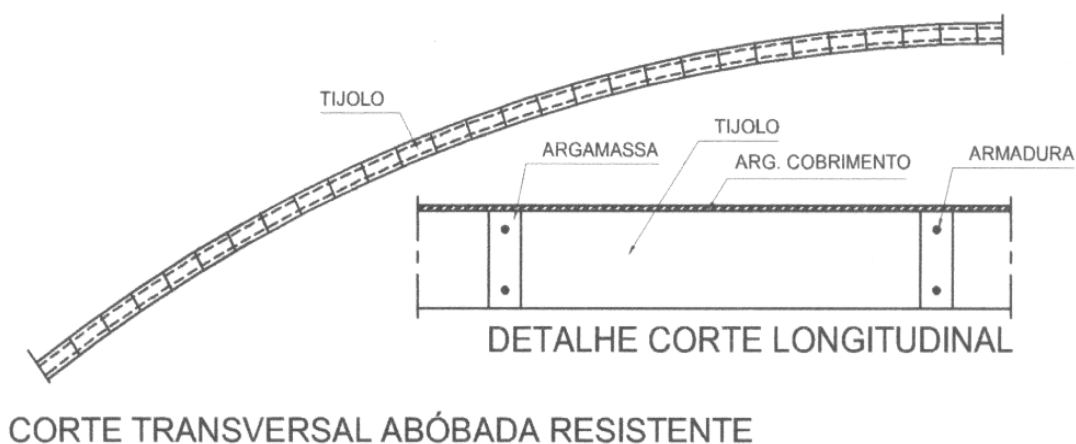


Figura 5.2 – Casa Berlinghieri: corte transversal e detalhe em corte longitudinal da abóbada autoportante (DIESTE, 1947).

A Figura 5.3 mostra detalhe das abóbadas que transferiam os carregamentos para as paredes e vigas de apoio, sendo uma ligada aos tirantes que resistem aos empuxos e a outra dependurada, suportando os esforços verticais e o peso próprio.

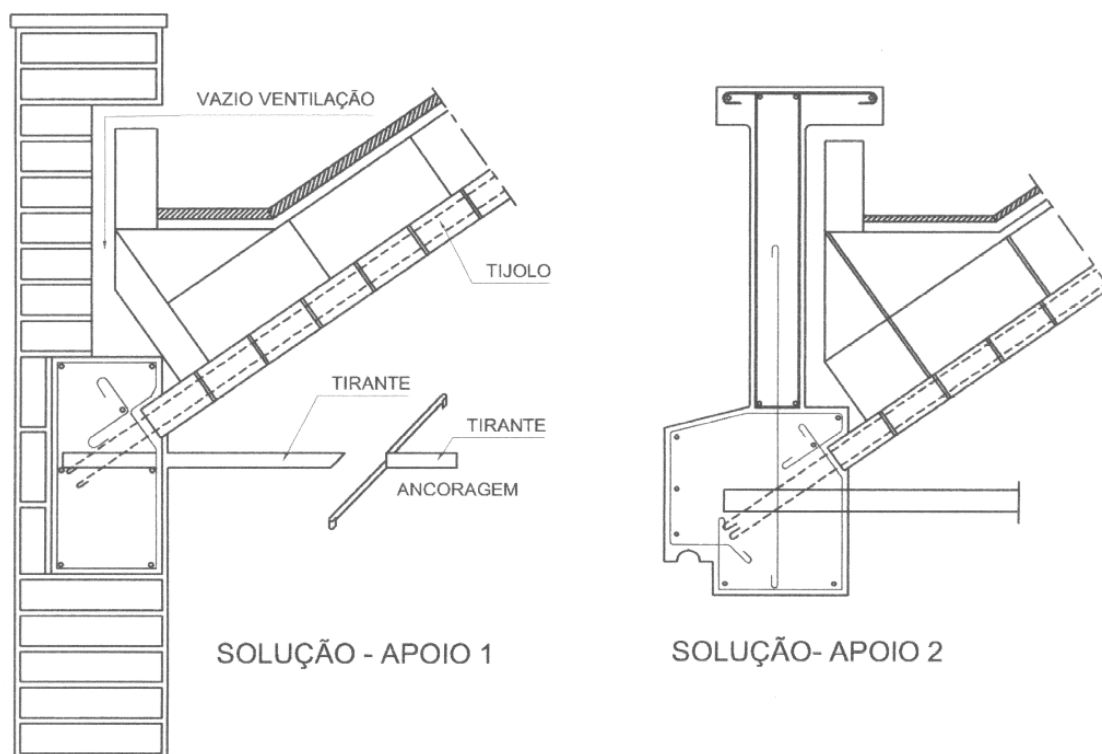


Figura 5.3 – Casa Berlinghieri: soluções de apoio para abóbada autoportante (DIESTE, 1947).

Desde então, foram observados por Dieste alguns aspectos fundamentais que se tornaram o fio condutor da evolução de uma técnica e uma forma cujo resultado final foram as abóbadas gaussianas ou de curvatura dupla.

Os projetos de cascas utilizados até a década de 40 adotavam as geometrias conhecidas calculadas pela teoria laminar clássica que considerava superfícies de diretrizes circulares ou elípticas. As cascas de cerâmica estrutural são descendentes daquelas em concreto que Dieste conhecia bem por ter trabalhado na construtora *Cristiani y Nielson* entre 1945 e 1948. Ele recuperou a utilização do material cerâmico, com um novo conceito, para superar a potencialidade técnica das cascas em concreto e utilizou um método semi-empírico para desenvolver geometrias laminares de diretriz catenária.

A tecnologia desenvolvida para abóbadas em cerâmica apropria-se da geometria de diretriz catenária, da contribuição da armadura e da protensão, superando a técnica tradicional das construções artesanais em abóbadas cerâmicas. A grande vantagem da diretriz catenária é que, submetida somente ao peso próprio, gera unicamente compressão nas seções da abóbada. Ou seja, a abóbada catenária tem um estado básico de membrana, com tensões de compressão uniformes em cada seção, paralelas ao eixo da mesma. Porém, podem existir outras cargas geradas pelo vento, cargas concentradas, variações térmicas e imperfeições construtivas, dentre outras. Estas cargas geram outras solicitações da seção tais como forças cortantes, de flexão e/ou trações, que se sobrepõem ao estado básico de membrana. Neste estado combinado, aparecem tensões paralelas e perpendiculares ao plano da casca, que podem fazer necessária a utilização de armadura estrutural. A premissa básica era de que o conjunto bloco-argamassa-aço se comportava como uma unidade estrutural.

Considerando que o único material a endurecer era a argamassa das juntas e esse rapidamente atingia uma resistência suficiente para estabilizar a abóbada, a desforma podia ser feita em curto espaço de tempo, após a execução da mesma. Este fato foi confirmado em ensaios para abóbadas de pequenos e grandes vãos.

As primeiras abóbadas construídas entre as décadas de 40 e 50 eram armadas com aço comum liso, de baixo teor de carbono, baixa capacidade de aderência e alta ductilidade. Estes aços possuíam tensão de ruptura à tração variando de 320 a 360 MPa e tensão de escoamento de 240 MPa, aproximadamente. A partir da década de 60, Dieste passou a utilizar aço de maior resistência e menor ductilidade. Para aumentar sua aderência ao concreto ou à argamassa os aços passaram a ser fabricados com superfície corrugada. Entre as décadas de 60 e 80 este aço era estirado e torcido a frio, apresentando tensões de ruptura à tração e de escoamento

aproximadas de 500 MPa e 420 MPa, respectivamente. A partir dos anos 90 o uso de aço tratado de dureza natural foi generalizado. Este apresentava tensões de ruptura à tração e de escoamento aproximadas de 550 MPa e 500 MPa, respectivamente.

A armadura de aço comum ou tratado, dependendo da época, era utilizada nas juntas entre os tijolos e, quando necessário, na argamassa de cobrimento. Tratava-se de uma malha fina eletro-soldada de 15 cm com fios de diâmetro de 3,8 a 4,2 mm, de aço liso, tratado e de dureza natural. A malha era disposta sobre as peças cerâmicas e revestida por uma camada também fina de argamassa de cobrimento de areia e cimento, bem compactada e de espessura uniforme, geralmente de 3 cm.

Embora a aderência da malha fosse baixa, a ancoragem era garantida pelas barras dispostas em direção perpendicular aos esforços. As resistências de ruptura e de escoamento dos aços desta malha eletro-soldada eram aproximadamente 600 MPa e 550 MPa, respectivamente. A argamassa de cobrimento era empregada para permitir um controle eficaz de fissuras devidas à retração e às variações de temperatura, constituindo-se em impermeabilização.

A pintura com várias demãos de tinta branca elástica a base de tintas acrílicas aplicada na superfície externa garantia a estanqueidade e refletia a radiação solar. Como a ferragem estava coberta pela argamassa, a estrutura não era atingida pela corrosão.

Para a movimentação dos moldes das abóbadas de grandes dimensões não existiam macacos hidráulicos confiáveis. Inicialmente esses macacos foram adaptados com alongamentos para melhor segurança ao subir e baixar os moldes. Por não ser considerada uma boa solução, foi desenvolvido um macaco eletro-mecânico que assegurasse a suavidade necessária à operação de montagem e desmontagem dos moldes.

O torno era fixado diretamente na roda do molde e à engrenagem. Através de um grampo de aço que praticamente eliminava o atrito, o esforço era transmitido à coluna do molde fazendo com que este último se movimentasse verticalmente.

A Figura 5.4 mostra detalhe de fixação para o molde móvel utilizado na execução das diferentes tipologias em abóbadas.

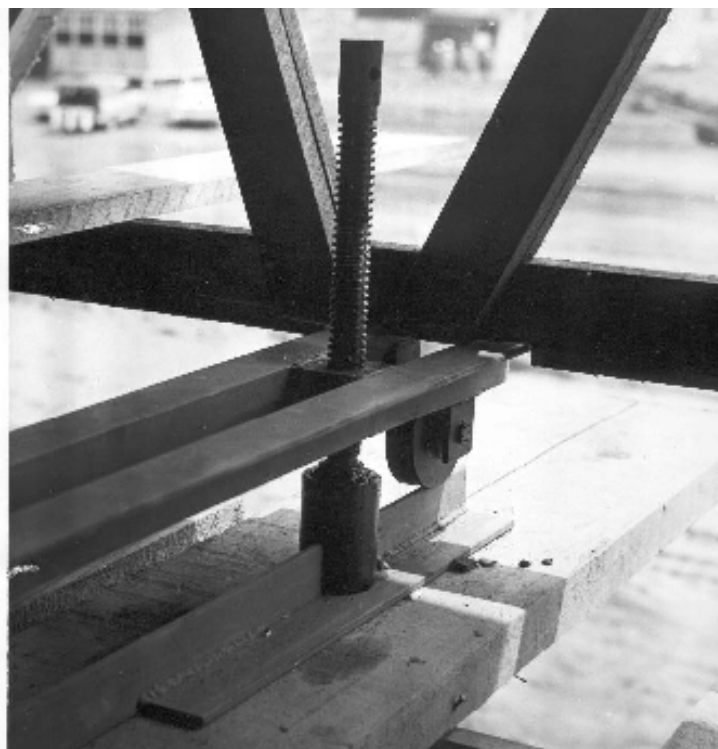


Figura 5.4 - Molde móvel: detalhe de fixação.

As abóbadas em cerâmica discutidas neste trabalho, em geral, são tipologias que apresentam a vantagem construtiva de utilizar apenas um molde modular com sistema para permitir movimentação horizontal e vertical, com as dimensões de uma unidade, que podia ser reutilizado muitas vezes de acordo com o comprimento da construção. O molde era montado, parte da abóbada era construída, este era retirado e montado novamente para a execução do segmento seguinte, implicando em maior aproveitamento do mesmo. Isto determinava uma economia de madeira, de escoras e de mão de obra. Como a desforma era feita antes do endurecimento total da argamassa, tornava-se possível o retoque nas juntas, proporcionando um acabamento final interno de qualidade. Associava-se a esta economia o menor consumo de aço e de operações de execução, que são simples, definidas e repetitivas, ocasionando uma redução de custo por metro quadrado construído. Os fatores citados tornaram as coberturas em abóbadas competitivas, se comparadas às coberturas tradicionais de concreto ou metálicas.

5.2.1.1 Abóbadas gaussianas ou de curvatura dupla

As primeiras abóbadas gaussianas projetadas por Dieste são posteriores a 1960. Como antecedente histórico pode-se citar uma solução de aparência similar, em forma de conóides, construída em 1956 para oficinas da Companhia de Trens da Bulgária. Alguns princípios básicos coincidem com a teoria de Dieste como o aproveitamento das vantagens estruturais da curvatura dupla e a possibilidade de iluminação lateral em dente de serra. No entanto, estas estruturas foram executadas em concreto armado, não possuem uma geometria reta nas bordas laterais e eram capazes de vencer vãos somente de até 18 m (DPA, 1999).

As abóbadas gaussianas são definidas pelos fundamentos estáticos de sua forma geométrica. São obtidas pelo deslocamento de uma catenária de corda fixa e flecha variável, contidas em um plano vertical móvel que se translada no sentido longitudinal, mantendo-se paralelo a outro plano vertical fixo, de modo que os pontos de partida destas catenárias percorram retas paralelas entre si, em geral contidas em um mesmo plano horizontal, cuja posição coincide com as vigas de borda. Também são chamadas abóbadas de curvatura dupla. A Figura 5.5 mostra a tipologia básica da abóbada de curvatura dupla.

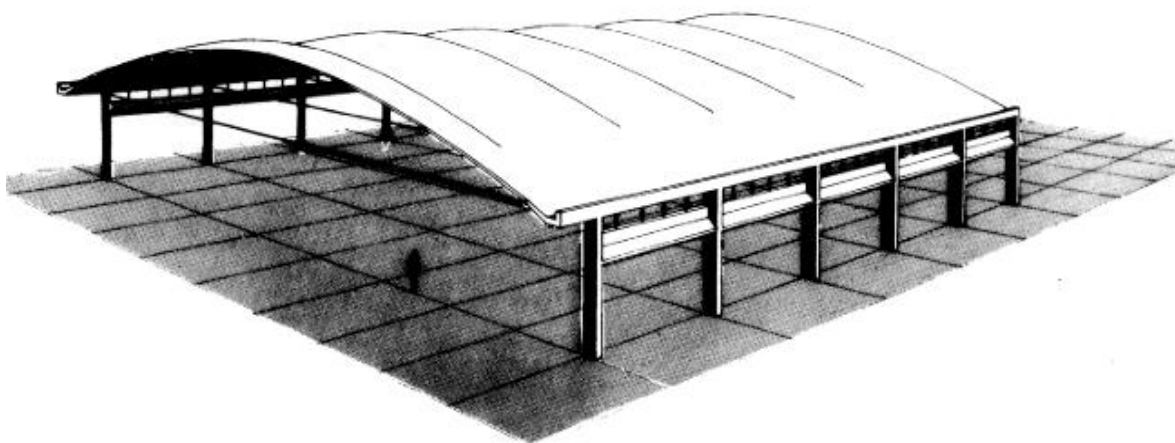


Figura 5.5 - Tipologia básica da abóbada gaussiana ou de curvatura dupla.

A inovação nesta solução tipológica representa a recuperação de uma técnica construtiva que se supunha superada. A construção de estruturas laminares de grande porte em cerâmica armada demandou um esforço técnico para a definição da forma, dos métodos de cálculo, da técnica de execução e do desenho de equipamentos, sempre embasados nos fundamentos da mecânica e na resistência dos materiais. A partir das primeiras construções em abóbadas, Dieste percebeu a necessidade de

usar curvatura dupla para vencer vãos de maiores dimensões e obter a rigidez desejada.

Para aumentar o vão da abóbada, foi importante considerar as flexões e a possibilidade de flambagem. Uma solução inicial foi a de aumentar a rigidez da casca através da colocação de armadura nas superfícies inferiores e exteriores do arco. Esta não se mostrou satisfatória uma vez que criou descontinuidade brusca nas seções, o que afetou o comportamento elástico da membrana. Outro agravante é que complicou a confecção da forma e o processo de desforma quando as ferragens eram colocadas internamente no arco, e aumentou o risco de fissuras entre a casca e o arco quando as ferragens eram colocadas externamente no arco.

A melhor solução encontrada foi a de ondular a abóbada longitudinalmente, o que aumentou suficientemente a rigidez da mesma, com pequeno aumento do comprimento e do peso, sem criar descontinuidades na seção transversal. Porém, a ondulação constante do comprimento transversal não solucionou completamente o problema. Demandou o apoio da abóbada em elementos resistentes de espessura igual ao da amplitude da onda do arco somada à espessura da abóbada, tornando esses apoios elementos antieconômicos e pesados ou complicados sistemas para transmissão de esforços.

A solução definitiva para esses problemas foi encontrada nos fundamentos estáticos da forma geométrica. Admitiu-se então, para a seção transversal, uma amplitude variável de onda, de um máximo no topo da abóbada, a zero nos elementos de suporte da extremidade, as vigas de borda. Estas eram vigas laterais horizontais, geralmente de concreto, apoios para as abóbadas que trabalham como arcos.

Desta forma conseguiu-se vãos livres de grandes dimensões e os apoios puderam ser esbeltos, da mesma espessura da abóbada, tornando-se elementos econômicos. As maiores dimensões para vãos livres registradas são as obras do Depósito de Lãs A.D.F. com uma área coberta de 10.000 m² e vãos de 30 e 40 m, do Ginásio de Durazno com área de 1.600 m² e vão de 45 m e do *Depósito Julio Herrera y Obes* com 4.200 m² e vão livre de 50 m.

As catenárias possuíam diferentes flechas e, conseqüentemente, diferentes tensões. Era necessário criar uma continuidade longitudinal da membrana através da colocação de armaduras longitudinais entre os blocos para se evitar fissuras transversais entre os diferentes arcos. Esta armadura tinha papel importante na absorção das trações causadas pelas diferenças de assentamento devido a diferentes flechas. A ondulação criada pelas diferentes flechas era necessária para se atingir a rigidez requerida pelo cálculo, particularmente no momento da desforma. Como a desforma era feita com a

argamassa apenas parcialmente endurecida, o módulo de elasticidade médio da abóbada apresentava-se mais baixo e as juntas longitudinais estavam comprimidas pela força transversal da casca. Desta forma, a colocação da armadura longitudinal tornou-se essencial para o funcionamento do sistema.

Dentre as características da dupla curvatura nota-se o aumento da inércia, a reflexão e a difusão da luz, e dispersão do som proporcionando um acondicionamento acústico de excelente qualidade. Como exemplo, uma casca de espessura de 13 cm, sendo 10 cm o tijolo ou lajota e 3 cm o capeamento superior, o isolamento térmico é equivalente a uma laje de concreto de 30 cm de espessura. O coeficiente de transmissão térmica nestes casos é de $2 \text{ cal/m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$, sem considerar a reflexão da radiação solar produzida pela pintura branca de acabamento (D & M, 1991).

Para soluções nas quais se deseja iluminação natural convenientemente orientada, a forma básica da abóbada gaussiana pode ser modificada e seccionada, mantendo-se os princípios básicos.

O sistema construtivo e a conveniente escolha da ondulação longitudinal admitiu aberturas no teto, proporcionando uma iluminação uniforme, com a intensidade desejada. Foram criadas interrupções no sentido transversal das ondas das abóbadas, onde eram instalados elementos que permitem a iluminação natural. Ao lado das esquadrias, ao longo das unidades consecutivas, eram executadas uniões rígidas que aumentavam a rigidez e a resistência da cobertura. As janelas funcionavam como juntas de dilatação no sentido longitudinal. Quando não existiam janelas era necessário executar juntas de dilatação.

A Figura 5.6 mostra a tipologia modificada da abóbada de curvatura dupla.

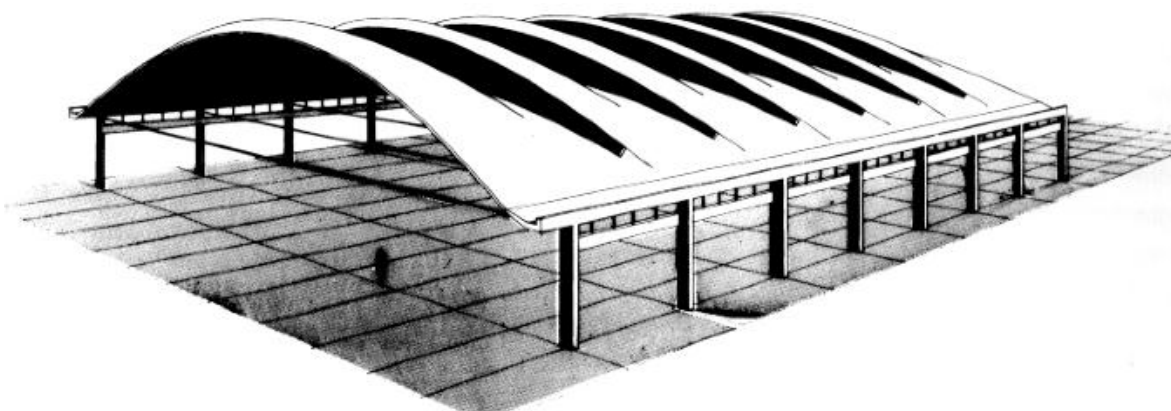


Figura 5.6 - Tipologia modificada da abóbada gaussiana ou de curvatura dupla.

Para a execução das abóbadas gaussianas era necessária a construção de moldes modulares especiais, que se assemelham ao esqueleto de animais pré-históricos, chamados então de “sistema de costelas”. As curvaturas variavam de acordo com a flecha das catenárias, sendo representadas por elementos geométricos.

Os moldes eram executados com infraestrutura metálica. Em alguns casos, eram estruturados em três partes, sendo maior a parte central e duas laterais menores e dobráveis para permitir o deslocamento horizontal do molde. Uma superestrutura de madeira formada por tábuas de pequena espessura ou placas de compensado apoiadas nestas curvas de costelas gerava a superfície espacial da curvatura dupla desejada, na qual eram dispostas as peças cerâmicas.

A movimentação vertical e horizontal do molde era essencial para a execução dos arcos uma vez que estes apresentam variação de flechas na seção longitudinal e a maioria das paredes, curvatura variável na parte superior. Na maior parte das vezes, a movimentação vertical permitia o movimento do molde sem interferência nos elementos anteriormente construídos. Os mecanismos de movimentação vertical e horizontal eram similares tanto para moldes de abóbadas de curvatura dupla como para as autoportantes.

Quando um arco de abóbada era concluído, para possibilitar o transporte do molde para a execução do próximo, no caso do molde dobrável, as duas partes laterais eram dobradas, o molde inteiro era deslocado para baixo com o auxílio de um macaco eletromecânico. Na sequência, o molde era guiado através de um trilho (Figura 5.4) e montado novamente. Este molde podia ser utilizado tantas vezes quantas fossem o número de arcos que constituíam a abóbada e seu custo diluía-se no total da obra através do uso repetido ao longo da execução.

A Figura 5.7 mostra exemplos de detalhamento das costelas, com as devidas dimensões para a fabricação dos moldes pelos carpinteiros.

5 – A tecnologia construtiva nas obras de Eladio Dieste: discussão e análise

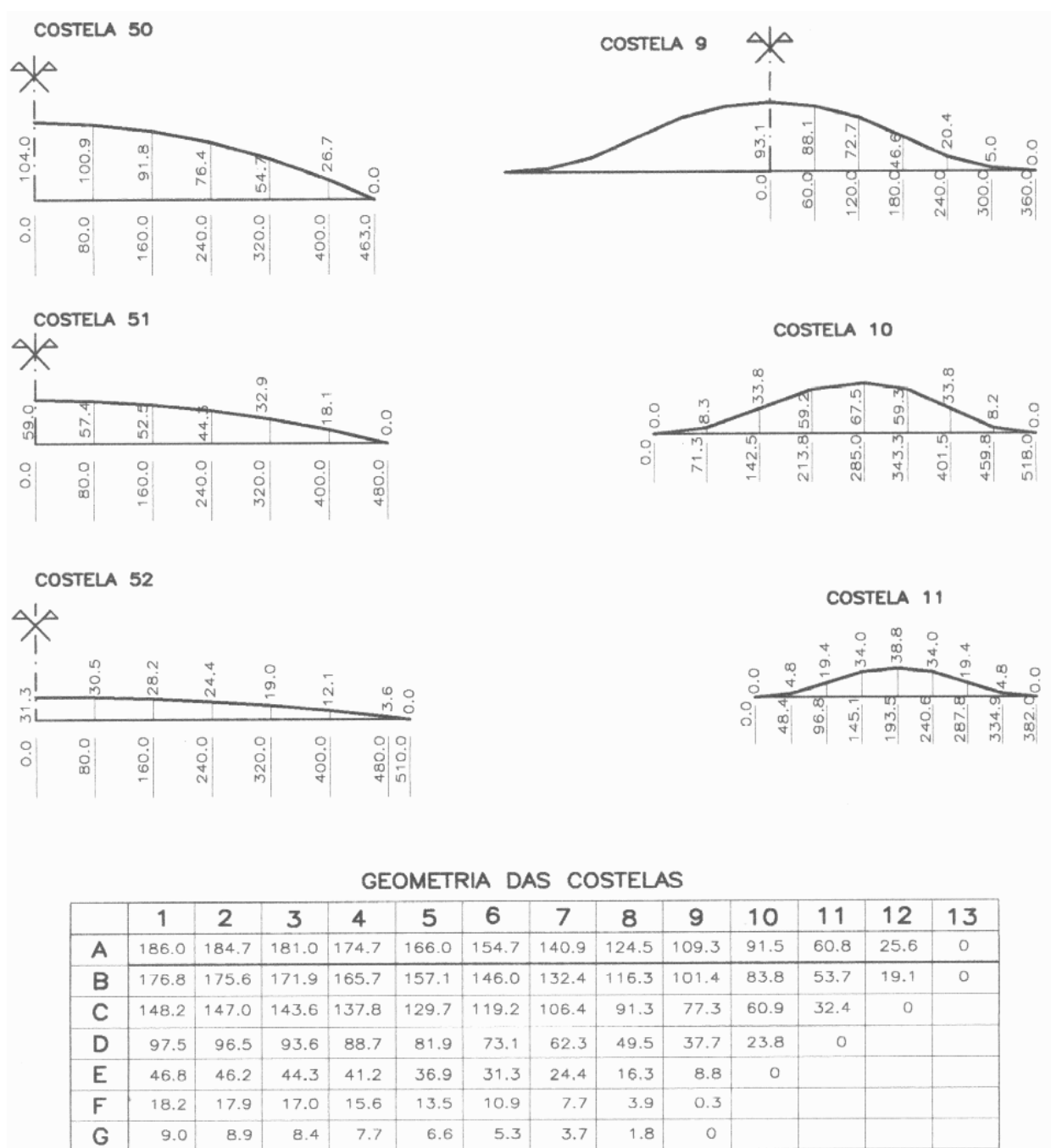


Figura 5.7 – Desenhos para a confecção do molde da abóbada de curvatura dupla: variações de flechas das catenárias.

A Figura 5.8 mostra a montagem do molde móvel para a abóbada de curvatura dupla.

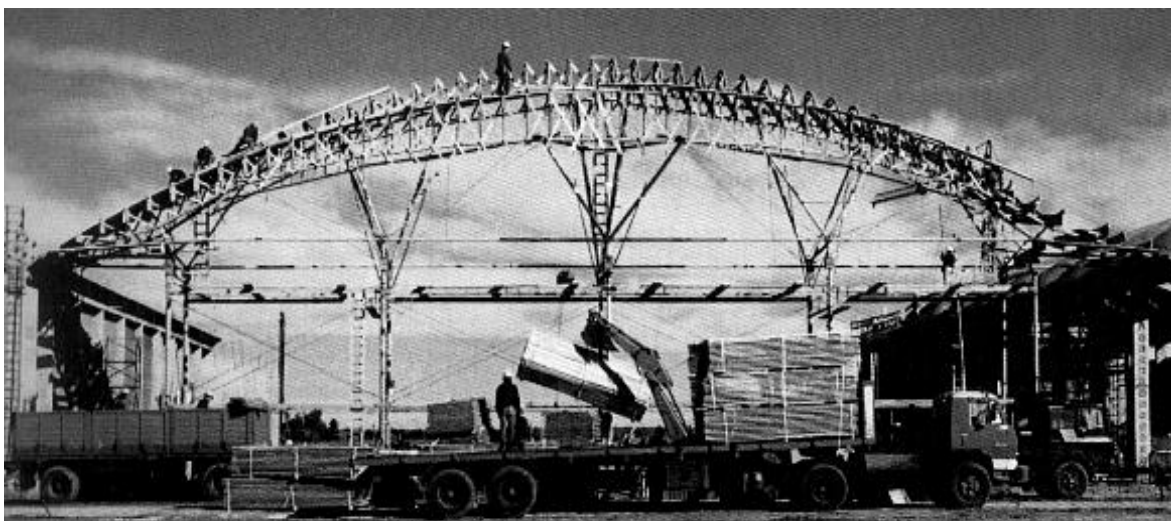


Figura 5.8 - Montagem do molde da abóbada de curvatura dupla: “sistema de costelas”.

A utilização de moldes móveis permitiu manter um ritmo contínuo de execução com prazos relativamente curtos de desforma mesmo para estruturas de grandes dimensões. Como exemplo pode-se citar a retirada do molde em um prazo mínimo de 12 horas após o término de cada arco de abóbada com vãos de 40 m, sendo registrado um ritmo médio de construção de 800 m² por semana (D & M, 1991; LARRAMBEHERE, 2001).

A Figura 5.9 mostra em detalhe a colocação das peças cerâmicas sobre o molde para posterior disposição da ferragem.

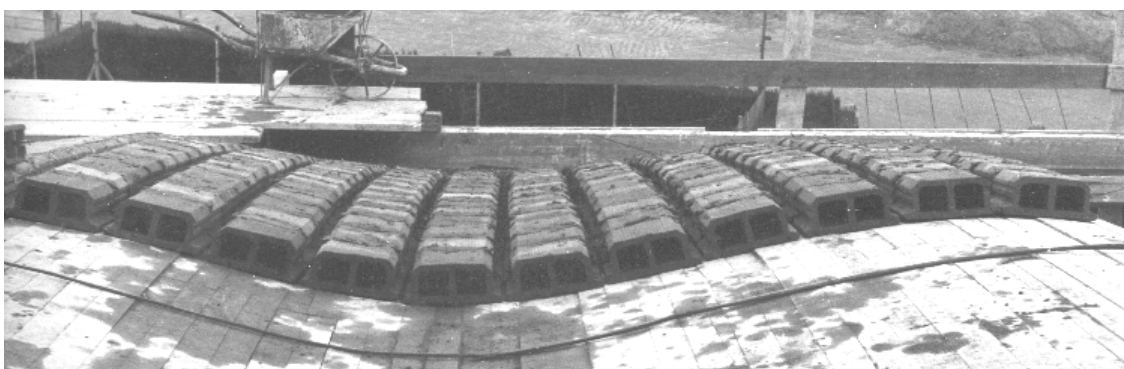


Figura 5.9 - Detalhe da disposição dos blocos sobre o molde.

A Figura 5.10 mostra uma vista geral das etapas de execução da abóbada de curvatura dupla com detalhes para colocação das peças cerâmicas, da malha de aço e da argamassa de cobertura e da pintura acrílica.



Figura 5.10 - Abóbada gaussiana ou de curvatura dupla: etapas de execução.

A Figura 5.11 mostra uma prova de carga 16 horas após o término da execução do segmento da abóbada, 2 horas após a desforma. Os moldes foram deixados a uma distância de 10 cm da abóbada.

Para esta prova de carga foi planejada uma quadrícula onde deveriam se localizar os operários e o próprio Dieste para distribuição do peso no vão de 42 m, simulando a flexão de um vento lateral de 200 km/h e uma carga de 4 kN. Na foto da Figura 5.11, o engenheiro Dieste encontra-se em pé no meio do vão longitudinal da abóbada e os operários estão dirigindo-se aos lugares pré-definidos.



Figura 5.11 - Prova de carga: o engenheiro Dieste e os operários da obra.

Segundo os conceitos apresentados por Dieste, as características das abóbadas gaussianas ou de curvatura dupla podem ser resumidas como (SEVILLA, 1996):

1. São utilizadas diretrizes catenárias que aumentam, em maior proporção, a rigidez do que a superfície e o peso. Desta maneira, o peso próprio não provoca tensões de tração, gerando somente tensões de compressão simples, sendo as membranas capazes de resistir à flambagem, principalmente quando acrescida de uma armadura mínima. O comportamento tipo membrana permite reduzir a espessura da casca, respeitando apenas os limites construtivos e o risco de flambagem.
2. A compressão devido ao peso próprio é independente da seção, uma vez que o esforço normal é proporcional ao peso por unidade de comprimento ou seção. Essas tensões são baixas. Como exemplo, em uma abóbada de 100 m de vão e 10 m de flecha, a compressão é de 2,7 MPa, supondo um peso específico médio de 2 kN/m³;
3. A armadura mínima assegura que um importante comprimento da casca (tensões admissíveis calculadas através de hipóteses simples) reaja como uma unidade elástica às cargas concentradas.

As abóbadas de curvatura dupla permitiram uma economia de material se comparadas às de concreto armado que demandavam moldes do tamanho total das abóbadas ou moldes móveis de grandes dimensões e prazos de desforma maiores, próprios desta tecnologia construtiva. São soluções indicadas quando o principal requerimento de projeto é o de vencer vãos transversais de grandes dimensões, mais de 20 m, sem apoios intermediários. O uso destas estruturas torna-se mais recomendado quando é necessária a iluminação natural através da cobertura, quando se deve adotar a chamada tipologia modificada. Este é o caso do *Depósito Julio Herrera y Obes* localizado no Porto de Montevideu, cujo vão livre é de 50 x 84 m (Figura 4.11).

5.2.1.2 Abóbadas autoportantes de diretriz catenária

Este tipo de estrutura espacial também tira vantagem de sua forma para resistir à solicitação do peso próprio. Eram tipologias muito utilizadas por Dieste através de um procedimento construtivo mais convencional se comparados às abóbadas de curvatura dupla, mas empregados de maneira estruturalmente autêntica. Foram introduzidas

inovações e correções ao método tradicional de construção de abóbadas cerâmicas, buscando maior leveza formal e estrutural e maior rapidez de execução.

Quando Dieste iniciou sua pesquisa sobre o tema, as abóbadas eram traçadas com diretrizes elípticas calculadas pela teoria de membranas, que considerava nulo o empuxo devido ao peso próprio transmitido pela abóbada. Dieste introduziu a abóbada de diretriz catenária que apresenta um comportamento duplo: como arco, transversalmente, e como viga, longitudinalmente. Esta última propriedade estrutural faz com que a abóbada descarregue as cargas verticais diretamente nos pilares, sem necessidade de apoiar-se nas vigas de borda, como é o caso das abóbadas de curvatura dupla. Por isto estas estruturas são chamadas abóbadas autoportantes de diretriz catenária, com curvatura simples. Existem abóbadas de curvatura simples e/ou de diretriz catenária que não são autoportantes, pois se apóiam em vigas de borda de concreto.

Outra contribuição foi a introdução de lajes planas situadas nos extremos da série de abóbadas com o objetivo de resistir à componente horizontal dos empuxos da série de abóbadas, geralmente conjuntos de cinco, seis ou sete, durante a construção, e aos esforços necessários para fixar a aresta da geratriz extrema, após a construção. Estes elementos eram chamados por Dieste de lajes de borda, por terem aparência de laje, mesmo quando se tratavam efetivamente de vigas horizontais. A denominação viga de borda foi reservada para os apoios das abóbadas que trabalham como arco e são sustentadas, geralmente, por duas vigas laterais horizontais de concreto, em sua maioria em forma de calha, para conduzir as águas da chuva. Como exemplos de vigas de borda apresentam-se os apoios laterais das abóbadas de curvatura dupla.

A presença destas lajes delgadas, geralmente construídas com tijolos ou blocos cerâmicos como as abóbadas, além de função estrutural, representavam função estética, como arremate das abóbadas reforçando a leveza visual desta tipologia. A Figura 5.12 mostra a tipologia básica da abóbada autoportante.

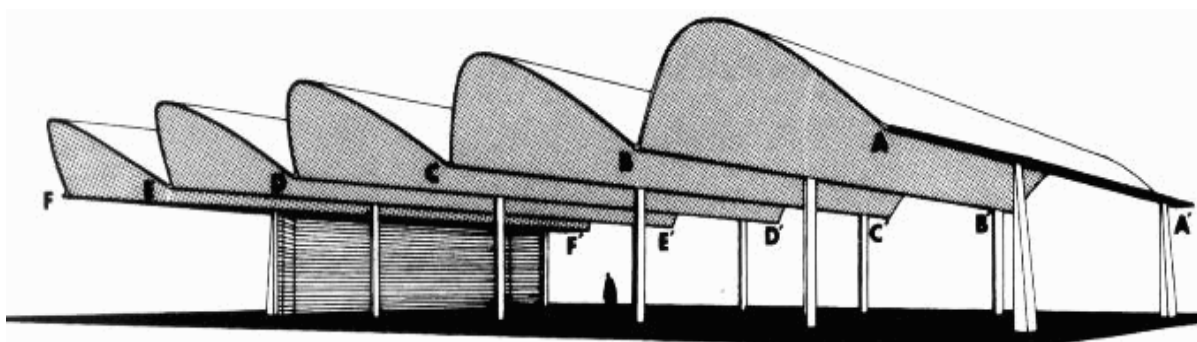


Figura 5.12 - Tipologia básica da abóbada autoportante.

As abóbadas autoportantes constituem-se de cascas formadas por uma capa de tijolos com juntas contínuas nas duas direções. Uma pequena armação metálica era disposta, tanto na diretriz catenária da abóbada quando no comprimento da geratriz retilínea, permitindo ao conjunto trabalhar como uma membrana elástica.

As características do funcionamento desta tipologia estrutural podem ser sintetizadas em função dos períodos transitório, durante a execução, e definitivo, depois de pronta a estrutura.

Na fase construtiva a estrutura trabalha como uma série de arcos cuja solicitação principal é o peso próprio, sendo desprezíveis os momentos gerados pela deformação da diretriz sob carregamento. Ocorria uma deformação nas lajes de borda causada pelo empuxo das abóbadas extremas, o que demandava a colocação de armadura. Em casos de estruturas de grandes dimensões era indicado o escoramento da viga de borda.

O dimensionamento da estrutura era tal que os esforços decorrentes das hipóteses de cálculo fossem resistidos após a desforma. Todas as geratrizes eram consideradas apoios fixos com articulações exteriores, sendo as geratrizes extremas apoiadas nas lajes de borda e as internas engastadas na interseção de duas abóbadas. Admitia-se que cada nó girava mantendo sua continuidade, em torno desta articulação. Nos vales intermediários eram dispostas peças horizontais de pequeno comprimento e grande rigidez, de maneira que os pares de arcos, ao chegarem no vale intermediário, eram considerados contínuos.

Os momentos que se propagam ao longo da estrutura, devido ao escoramento das lajes de borda extremas para resistir à componente vertical, eram calculados analogamente ao cálculo fundamental de estruturas. As reações que surgiam nas articulações em função deste cálculo possuíam componentes horizontais e verticais que deviam ser resistidas pela casca como um todo. Maiores detalhes destes procedimentos de cálculo podem ser encontrados em Sevilla (1996), v. 2.

Cada módulo ou setor trabalhava transversalmente como arco e longitudinalmente como viga, sendo dominantes as tensões de viga. As vigas gaivotas intermediárias trabalhavam somente à solicitação vertical, uma vez que os empuxos das seções correspondentes equilibravam as componentes horizontais e somavam as verticais. Nos vãos, os cabos de protensão eram colocados no fundo da calha, ancorando-se por aderência, como mostra em detalhe a Figura 5.13.

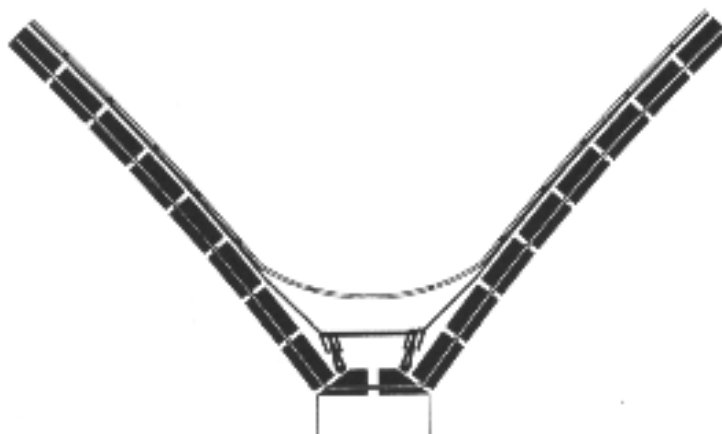


Figura 5.13 - Abóbada autoportante: detalhe da colocação dos cabos no fundo da calha.

O módulo extremo produzia um empuxo inclinado que era transmitido à infraestrutura através de uma laje de borda que era horizontal, em marquise ou apoiada, ou curva, igual à abóbada, formando uma calha. A expressividade desta tipologia foi explorada através da utilização de seções variáveis conferindo à laje de borda uma forma dinâmica como os exemplos mostrados na Figura 5.14.

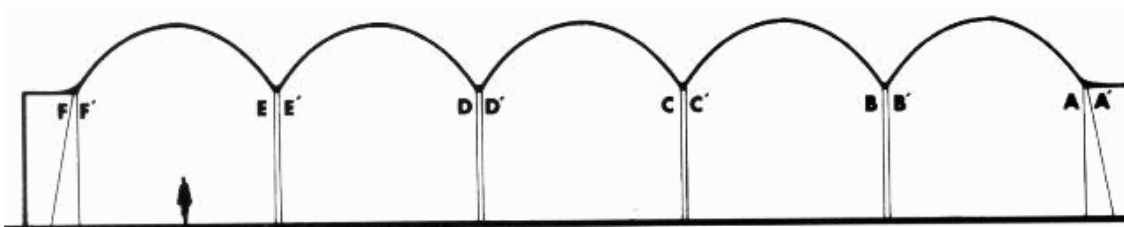
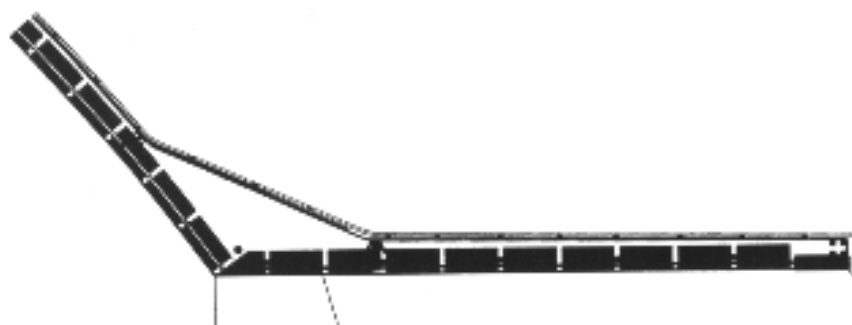
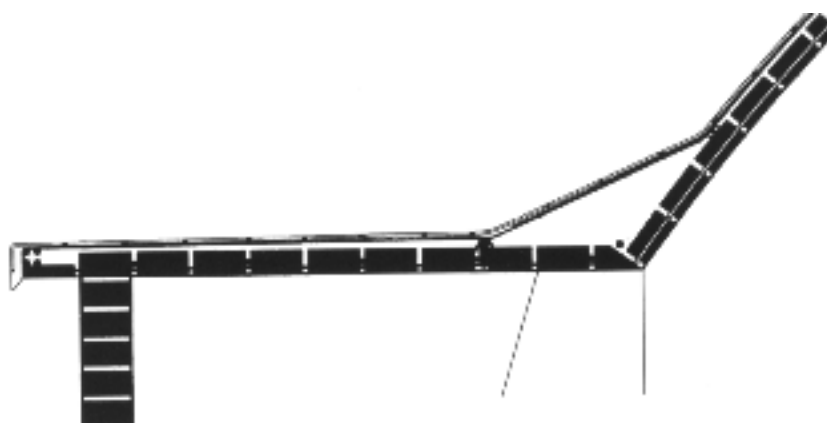


Figura 5.14 – Abóbada autoportante: seções variadas para as lajes de borda.

Os cabos de protensão nos balanços eram colocados no cume da abóbada. Os empuxos das abóbadas extremas eram resistidos com tirantes ou paredes diafragmas, ou contrafortes exteriores. A diretriz catenária simplificava a descarga da abóbada nos pilares. A Figura 5.15 (a) mostra detalhe da abóbada apoiada na geratriz extrema e a Figura 5.15 (b) a abóbada apoiada em uma parede e na geratriz extrema.



(a) detalhe de apoio da abóbada autoportante na geratriz extrema



(b) detalhe de apoio da abóbada autoportante em uma parede e na geratriz extrema

Figura 5.15 - Detalhes de apoios distintos das abóbadas autoportantes.

Em ambos os casos mostrados anteriormente na Figura 5.15 eram necessários tirantes capazes de absorver os empuxos reacionais das lajes de borda horizontais extremas, durante a construção, e às reações do complexo abóbada-laje, depois de construído.

Para a execução das primeiras abóbadas pré-comprimidas foi desenvolvido, em 1962, um sistema de protensão idealizado por Dieste. Eram sempre utilizados pares de aço, com diâmetro de 5 mm e capacidade de 20 kN cada. Desta forma, a resistência mínima possível era de 80 kN ou múltiplo. Na maior parte de suas obras, Dieste adotava ferragem com resistência de 240 kN.

Para executar a protensão dos cabos nas vigas dos vales, na parte inferior da casca, era utilizado um equipamento para trabalhar horizontalmente, um macaco comum de caminhão adaptado com um jogo de alavancas. A Figura 5.16 mostra este macaco hidráulico em foto e croqui.

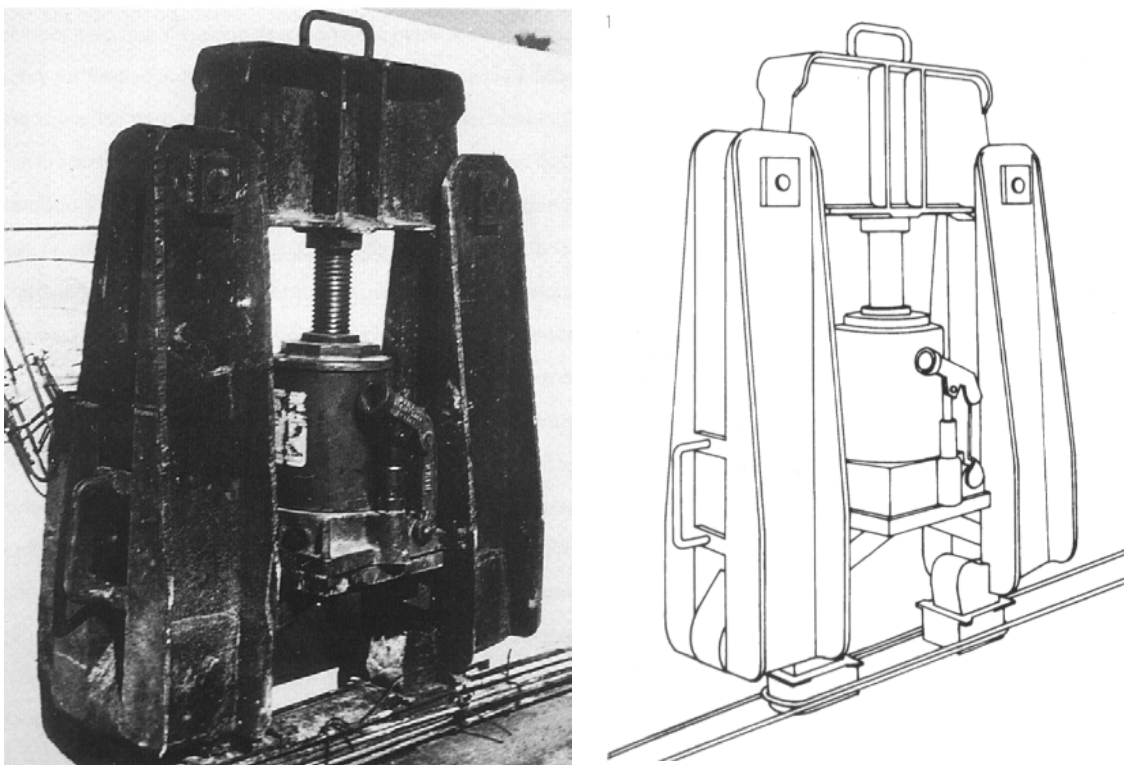


Figura 5.16 - Macaco hidráulico adaptado por Dieste: execução de abóbadas pré-comprimidas.

O sistema de protensão consistia na ancoragem de dois laços de aço nas extremidades opostas das vigas, e superpostos em sua parte central. Entre estes laços eram colocadas duas cabeças de aço, em forma de unhas. Ao fazerem força contra o lintel e a base metálica, as alavancas separavam as cabeças de aço que por sua vez moldavam e protendiam os cabos de aço. As cabeças de aço eram mantidas separadas pela colocação de uma trava central, também de aço.

Para a protensão na parte superior das abóbadas autoportantes de grandes dimensões, os cabos eram colocados em forma concêntrica e ancorados nas extremidades por grampos de aço fixados na estrutura. A protensão era aplicada no trecho central dos cabos por um equipamento mecânico simples que os aproximava, permitindo que fossem presos por grampos metálicos, mantendo a tensão nos mesmos, sem necessidade de ancoragem. Após este processo, os cabos eram cobertos por uma malha fina de aço e recobertos por uma camada fina de argamassa de cimento e areia.

Enquanto na década de 70 eram empregados aços com tensões de ruptura à tração e de escoamento aproximadas de 500 MPa e 420 MPa, respectivamente, atualmente são utilizadas cordoalhas de aço que apresentam tensões de 1900 MPa e 1700 MPa.

A eliminação das trações de flexão através da protensão permitiu a construção de abóbadas autoportantes vencendo vãos e balanços de grandes dimensões, como por exemplo, vãos longitudinais de até 35 m e balanços de até 16,40 m.

As Figuras 5.17 e 5.18 mostram o sistema de pré-compressão dos cabos na parte superior das abóbadas autoportantes, em etapas distintas de execução. A Figura 5.17 mostra a montagem dos cabos de protensão em abóbadas autoportantes com detalhe para ancoragem dos mesmos nas extremidades.

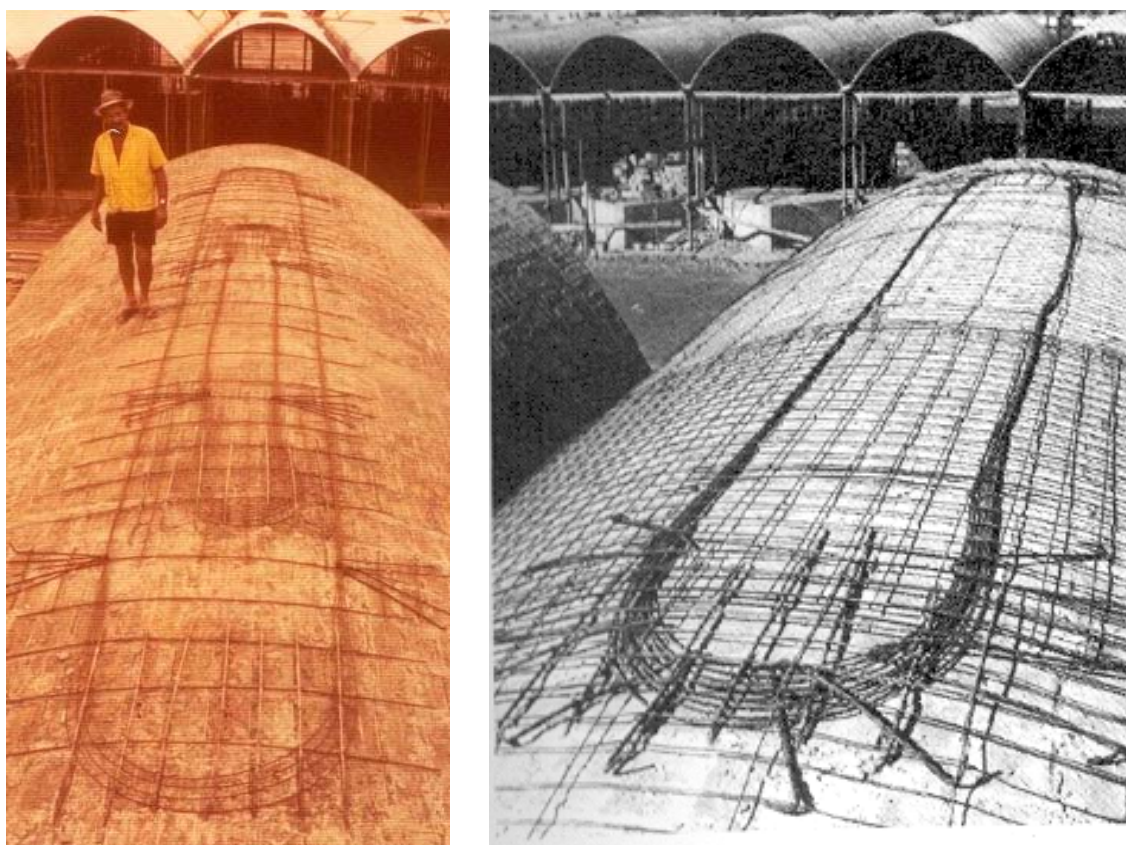


Figura 5.17 – Abóbadas autoportantes: montagem dos cabos de protensão na parte superior.

A Figura 5.18 mostra a execução da protensão em abóbadas autoportantes com equipamento mecânico e processo de acabamento com a colocação da malha eletro-soldada sobre os cabos.

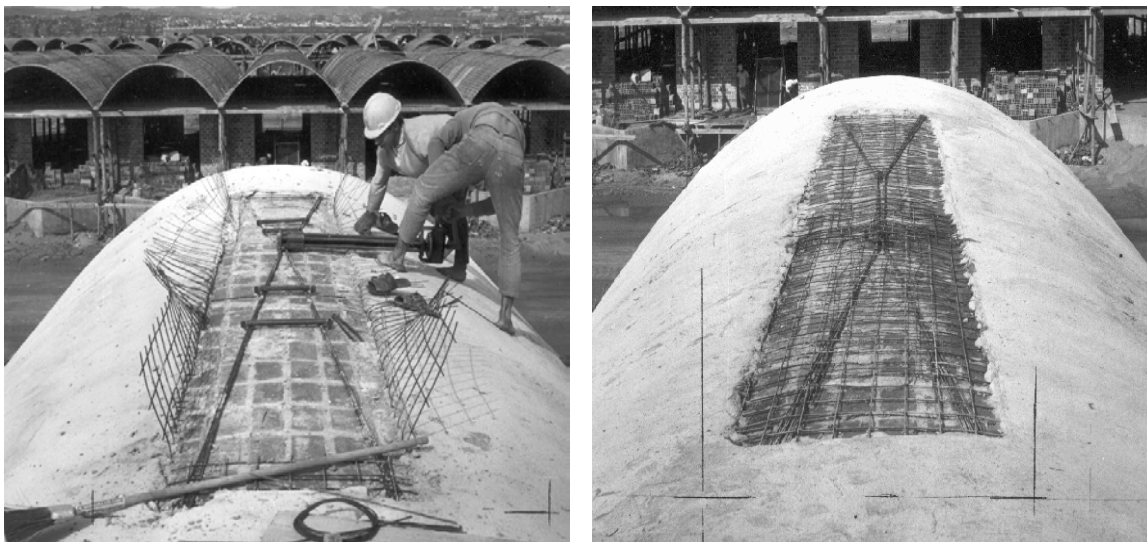


Figura 5.18 – Abóbadas autoportantes: protensão dos cabos na parte superior e colocação de malha eletro-soldada.

A escolha das dimensões para vão transversal e flecha eram decorrentes das exigências estruturais e arquitetônicas. Podem ser encontradas variações dimensionais de 3 a 13 m para o vão transversal e de 0,25 a 0,35 do vão transversal para a flecha da catenária. Os vãos transversais desta tipologia são modestos, os principais são os conseguidos segundo a geratriz longitudinal. Como as abóbadas autoportantes não necessitavam de apoios situados nos extremos da casca, foram exploradas formas delgadas cobrindo grandes áreas em balanço.

A espessura final da casca da abóbada era de, no máximo, 12 cm, sendo 3 cm do capeamento superior. Eram utilizados tijolos com duas camadas de furos para aumentar o isolamento térmico que atinge valores semelhantes aos mencionados na abóbada de dupla curvatura ($2 \text{ cal/m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$), e somente argamassa de cimento e areia, facilitando o manuseio e execução dos serviços (D & M, 1991).

As tipologias em abóbadas autoportantes permitiam a construção de moldes modulares de pequena extensão, um por abóbada, que eram deslocados paralelamente às geratrizes através de trilhos (Figura 5.6). Como os vãos de maiores dimensões eram os longitudinais, os moldes, além de móveis, eram leves e conseqüentemente baratos e de fácil manejo, tornando-se opções econômicas. Por exemplo, uma abóbada de 100 m de comprimento podia ser executada com um molde de 5 m, o que significa ser reutilizado 20 vezes.

As características dos moldes e as velocidades de execução eram similares aos das abóbadas de curvatura dupla. O movimento vertical se realizava através de macacos eletromecânicos que deslocavam verticalmente o molde até que suas bordas estivessem em contato com os vales das lajes de borda de alvenaria armada que deviam ser construídas previamente.

O molde propriamente dito era formado por quadriculas que orientavam a colocação das peças cerâmicas. A Figura 5.19 mostra um detalhe da estrutura de um molde para a execução de abóbadas autoportantes.



Figura 5.19 - Detalhe de estrutura de molde para abóbada autoportante.

As abóbadas eram construídas deixando-se, nas juntas entre peças, espaço suficiente para colocação da armadura necessária para atingir o comportamento de cascas autoportantes após o endurecimento total da argamassa e as ancoragens para os cabos de protensão, quando indicado.

A Figura 5.20 mostra em detalhe o quadriculado do molde com espaçadores sobre o qual eram dispostos os tijolos para execução das abóbadas autoportantes.

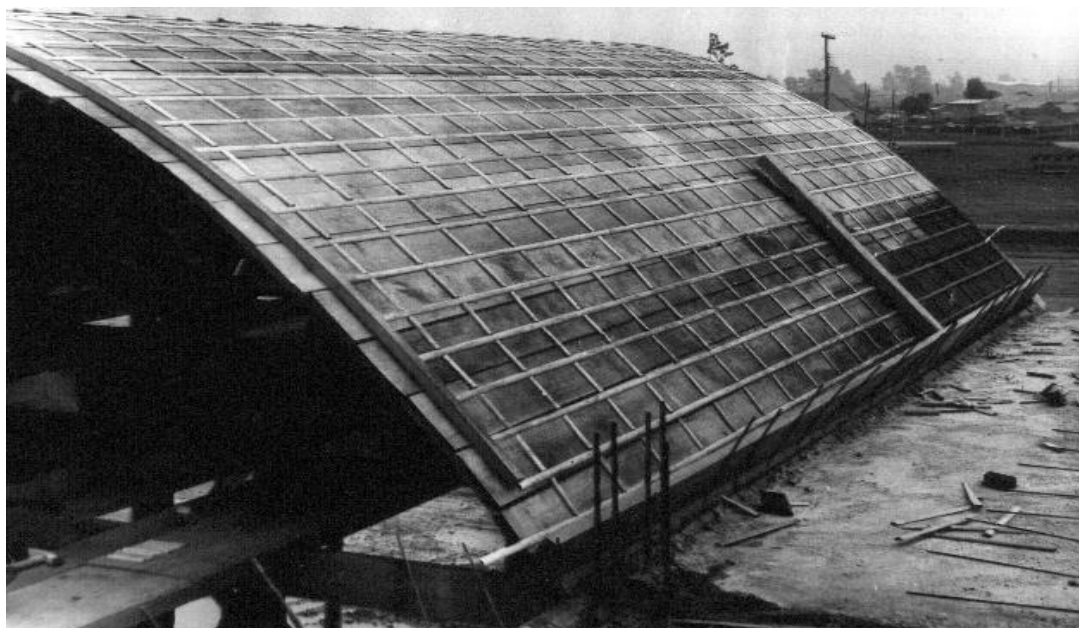


Figura 5.20 – Detalhe do molde quadriculado para execução de abóbada autoportante.

Uma estrutura significativa de tipologia em abóbada autoportante na qual foram explorados balanços de grandes dimensões é a Estação Rodoviária de Salto, no Uruguai, cuja cobertura apóia-se em uma fileira de pilares com balanços de 13,5 m. A Figura 5.21 mostra croqui estrutural desta Estação em planta, vistas e cortes.

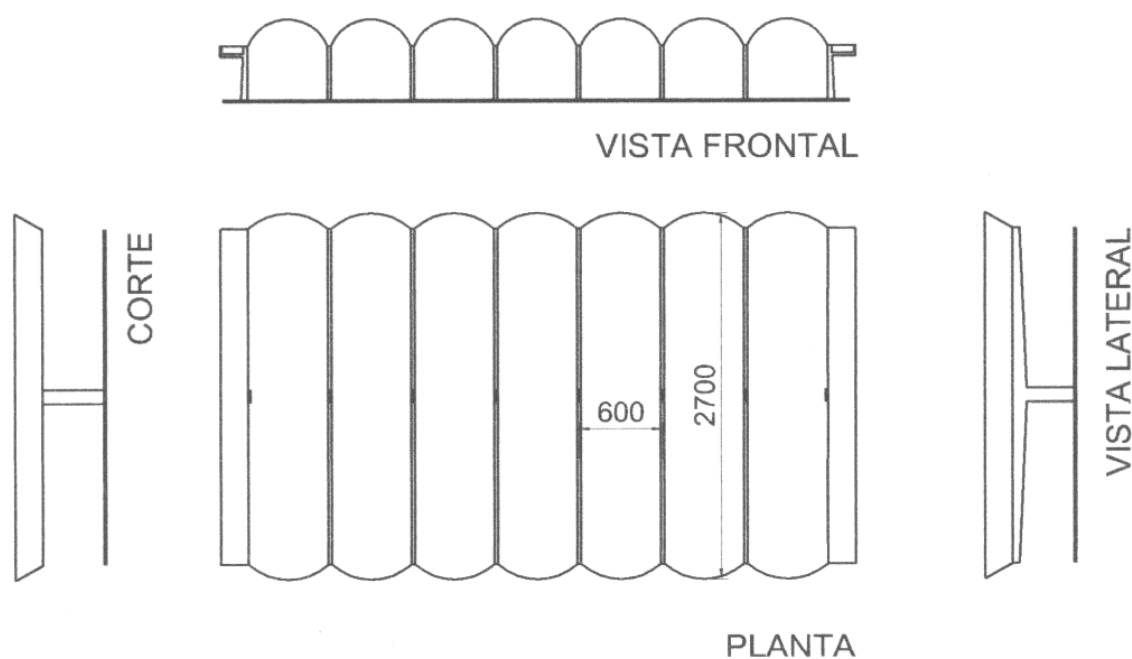


Figura 5.21 - Croqui estrutural da Estação Rodoviária de Salto: planta, vistas e corte.

A solução para a cobertura da Agroindústria Massaro em Canelones, no Uruguai, resultou em uma casca com uma esbeltez próxima à que se conseguiria com estrutura metálica. Trata-se de uma série de cascas autoportantes pré-comprimidas de diretriz catenária. As dimensões principais são de 12,70 m para a corda da diretriz, de 4,23 m para a flecha, de 120,00 m para o comprimento total, de 35 m para o vão entre pilares e de 16,40 m para o balanço em um dos extremos.

A Figura 5.22 mostra um croqui estrutural da Agroindústria Massaro em planta, corte e vistas. A obra foi executada em três fases como mostra a planta de cobertura.

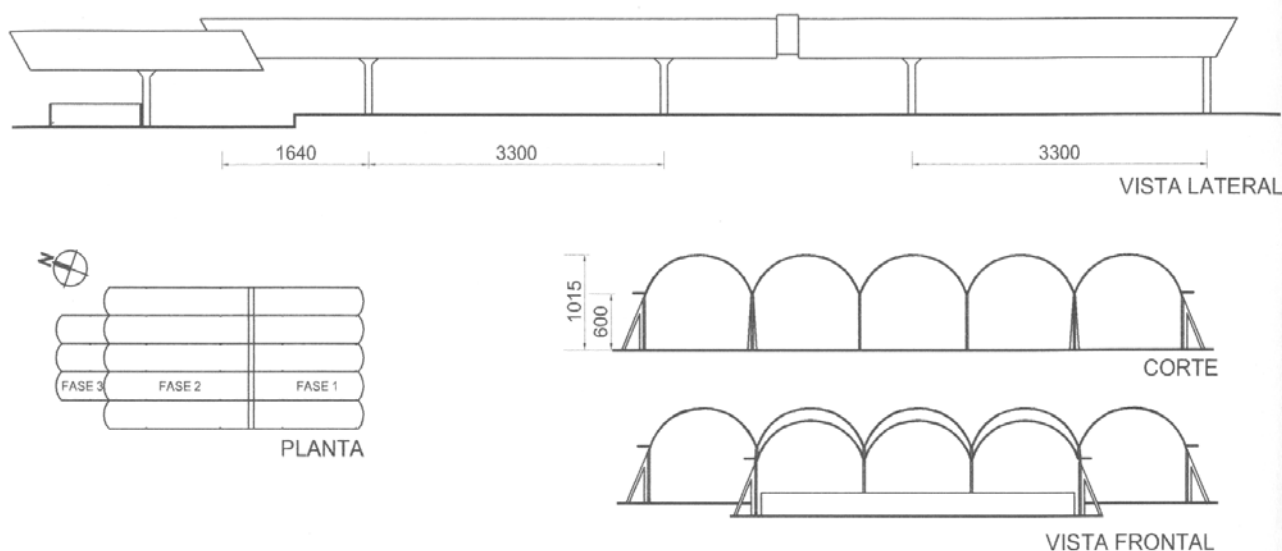


Figura 5.22 - Croqui estrutural da Agroindústria Massaro: planta, corte e vistas.

Algumas das estruturas de Dieste tornaram-se mais conhecidas que outras. Este é o caso do Posto de Gasolina Barbieri y Leggire construído em Salto, Uruguai, em 1976, conhecido como gaivota.

Esta estrutura pode ser descrita como dois trechos de casca em balanço, formados por catenárias invertidas, ligados por uma viga de vale e sustentada por um único pilar central. Os balanços possuem dimensões de 8,50 m no sentido longitudinal e 2,80 m no transversal.

Apesar do grande impacto visual que causa, trata-se de uma estrutura de funcionamento elementar. Segundo Dieste, esta obra foi executada como uma estrutura limite, para demonstrar, a si próprio, que a teoria aplicada no conjunto das outras estruturas era correta. Foi construída com um conjunto de moldes anteriormente utilizado para outra obra e sua forma final expressa grande leveza e

simula um desafio à Lei da Gravidade (EXPOSICIÓN..., 1996). A Figura 5.23 mostra o Posto de Gasolina Barbieri y Leggire.



Figura 5.23 – Posto de Gasolina Barbieri y Leggire: gaivota.

Na década de 90, devido a mudanças locais, esta estrutura deveria ser demolida. Por ser considerada patrimônio da cidade, foi transportada para a entrada da cidade de Salto, Uruguai. A Figura 5.24 mostra detalhes do transporte.

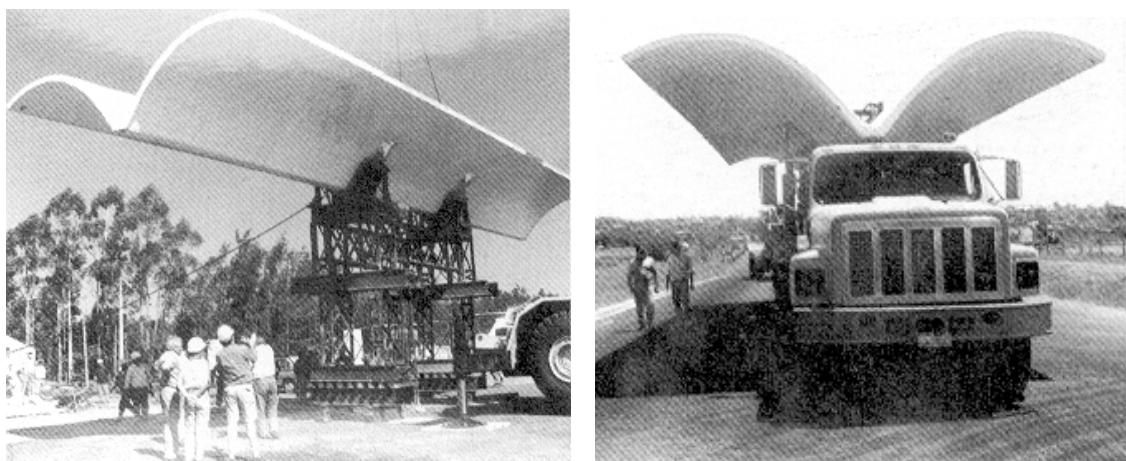


Figura 5.24 – Transporte da gaivota.

As tipologias autoportantes são indicadas quando é possível a exploração da iluminação natural através das aberturas laterais do espaço coberto e não há

necessidade de vãos livres permitindo o uso de pilares intermediários. São soluções que expressam leveza, proporcionam maior economia e facilidade de execução, se comparadas às abóbadas de curvatura dupla.

5.2.1.3 Processo de execução de abóbadas

Com base na tecnologia construtiva utilizada para a execução das abóbadas cerâmicas, cujos princípios básicos foram descritos, pode-se sistematizar os procedimentos para sua execução da seguinte maneira:

- a) Construção de molde modular na forma exata do segmento e/ou arco da abóbada;
- b) Montagem de estrutura com mobilidade vertical e horizontal capaz de suportar os esforços transmitidos aos moldes durante a construção.
 - No caso de abóbadas autoportantes, as vigas de borda das estruturas de grandes dimensões eram escoradas durante a execução.
 - No caso de abóbadas de dupla curvatura a infraestrutura do molde possuía partes dobráveis para permitir a movimentação horizontal do mesmo;
- c) Disposição de tijolos ou blocos cerâmicos sobre o molde:
 - No caso de abóbadas autoportantes, os espaçadores formavam uma malha quadricular que orientava a colocação das unidades.
 - No caso de abóbadas de curvatura dupla procurava-se manter a menor distância possível entre as peças cerâmicas, apenas o necessário para a posterior colocação da armadura. A marcação de uma malha ortogonal de aproximadamente 1 x 1 m no molde, para a orientação da disposição das peças era o procedimento adotado. Quando necessário, uma ou mais peças eram cortadas, buscando-se a adequação das unidades à curva catenária do arco e maior regularidade nas juntas;
- d) Armação das juntas longitudinais, entre cada fileira de unidades, buscando a continuidade longitudinal da membrana;

- e) Armação das juntas transversais, entre unidades, com um mínimo de duas barras de aço, para resistir aos esforços de flexão. A Figura 5.25 mostra, em corte esquemático, a disposição das armaduras longitudinal e transversal de diâmetro de, geralmente, 6 mm.

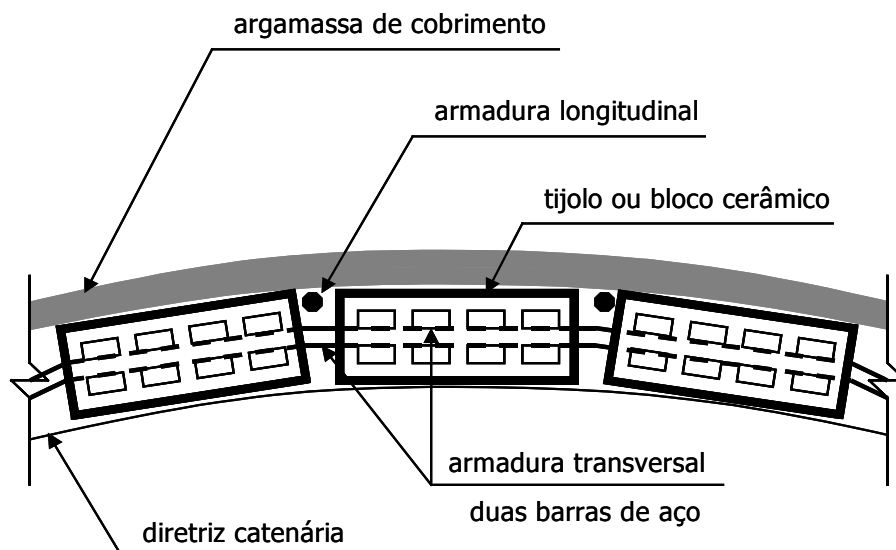


Figura 5.25 – Corte esquemático: colocação das armaduras longitudinal e transversal nas abóbadas.

- f) Aplicação de argamassa de assentamento entre unidades, com espessura suficiente para envolver a armadura, geralmente juntas de 2 cm;
- g) Colocação de malha eletro-soldada a ser recoberta pela argamassa de cobertura, geralmente de 15 x 15 cm com fios de aço de diâmetro variando entre 3,8 e 4,2 mm;
- h) Aplicação de argamassa de cobertura, geralmente com 3 cm de espessura, de cimento e areia, para o término do segmento da abóbada;
- i) Retirada do molde após o prazo de desforma recomendado em projeto com o devido acompanhamento da resistência dos corpos de prova de argamassa;
- j) Remontagem do molde para execução do próximo segmento e/ou arco de abóbada;

- k) Aplicação de pintura com tinta acrílica branca sobre a argamassa de cobrimento, após a execução de todos os arcos e/ou segmentos da abóbada de cobertura.

A Figura 5.26 mostra a execução de uma abóbada com detalhes para as etapas construtivas de colocação de armadura transversal e longitudinal, de colocação das peças cerâmicas estruturais e de revestimento e aplicação da argamassa de cobrimento.

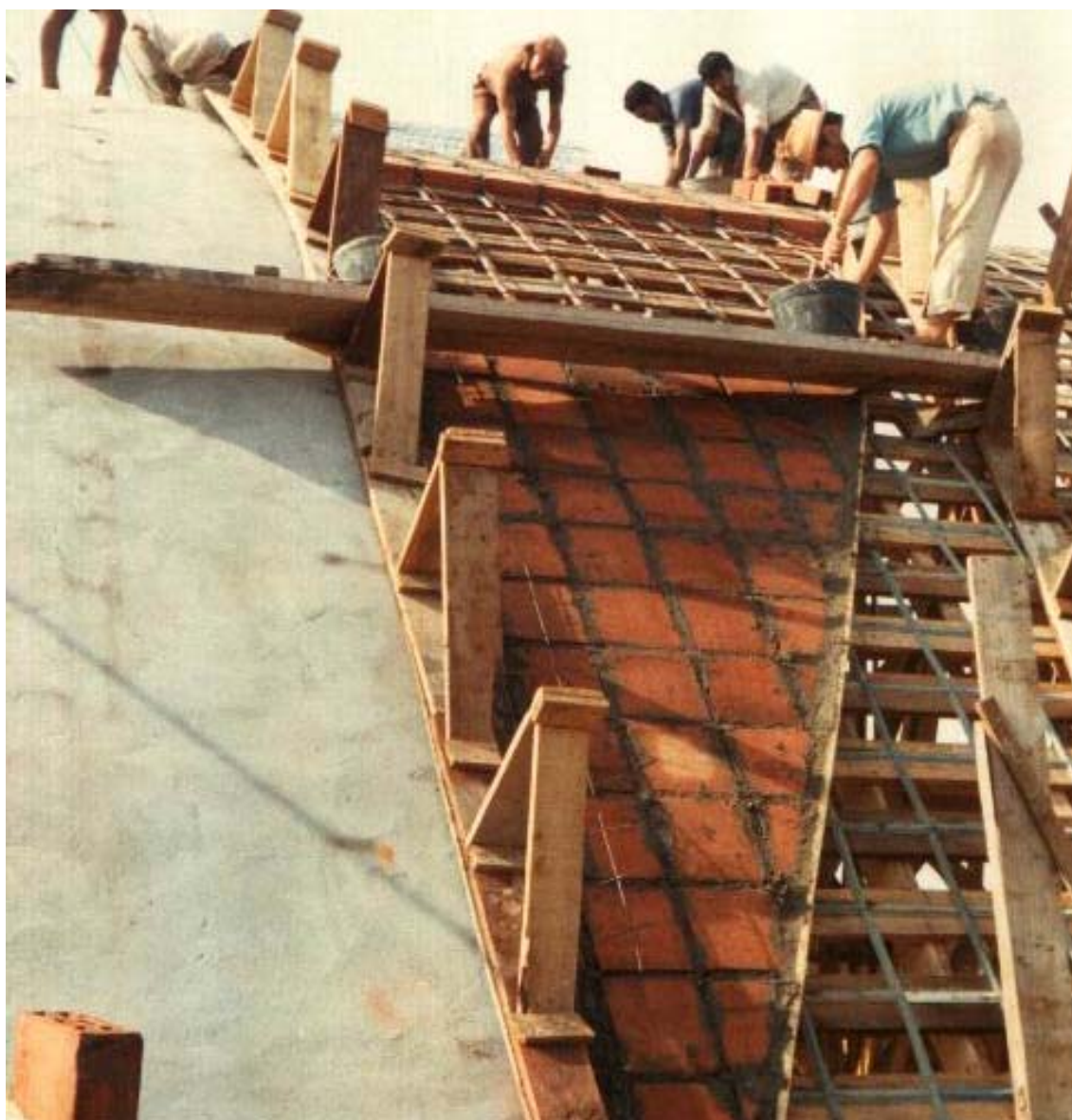


Figura 5.26 - Execução de abóbada: etapas construtivas distintas.

5.2.2 Superfícies regradadas

As superfícies regradadas, tipologia empregada por Dieste para várias construções, são formadas pelo movimento de uma reta geratriz que se move no espaço segundo uma determinada lei, apoiando-se em duas linhas não co-planares chamadas diretrizes. Estas diretrizes não são necessariamente retas, podem ser formadas por uma reta e uma curva senóide, por exemplo. Todas as superfícies regradadas são onduladas, porém nem todas as superfícies onduladas são regradadas.

Neste tipo de estrutura não existem vigas ou pilares. São superfícies formadas pela ondulação de tijolos que recebem os esforços horizontal e vertical. O aumento da resistência das superfícies nos locais de maior solicitação é conseguido através da solução formal, criando maior inércia, e não através do aumento da resistência ou da quantidade do material. Dieste utiliza as superfícies regradadas e as formas catenárias para resolver as solicitações existentes, criando resistências (LARRAMBEBERE, 2003).

Como exemplo de estrutura regradada podem ser citados os tanques construídos na forma tronco-cônica por razões estáticas de eliminação dos esforços cortantes que passavam pelas travas horizontais e para eliminar as deformações comuns das formas cilíndricas. A adoção da forma tronco-cônica invertida aumentava sua capacidade de resistência e as pressões na cuba eram absorvidas pela armadura circular horizontal.

A figura 5.27 mostra uma vista geral de um tanque de água, constituído em duas partes claramente discerníveis, a cuba e a torre vazada.

Sobre esta estrutura faz-se uma reflexão da interação entre a arquitetura e a estrutura. Foram dispostas travas horizontais necessárias para resistir aos esforços cortantes, pois o conjunto desta torre se comportava como uma abóbada vazada. Estas travas poderiam ser projetadas de maneira contínua formando anéis ou descontínua que, do ponto de vista estrutural, possuíam o mesmo comportamento, mas não do ponto de vista expressivo. Como as travas foram dispostas de forma descontínua em diferentes alturas, priorizou-se as linhas verticais de fuga, tornando o conjunto visualmente mais leve. Toda a torre foi construída sem molde, com a utilização de gabaritos e fios-guia. A eleição da forma tronco-cônica foi em razão do tipo estrutural e do tipo estético que são coincidentes (EXPOSICIÓN..., 1996; LARRAMBEBERE, 2001).

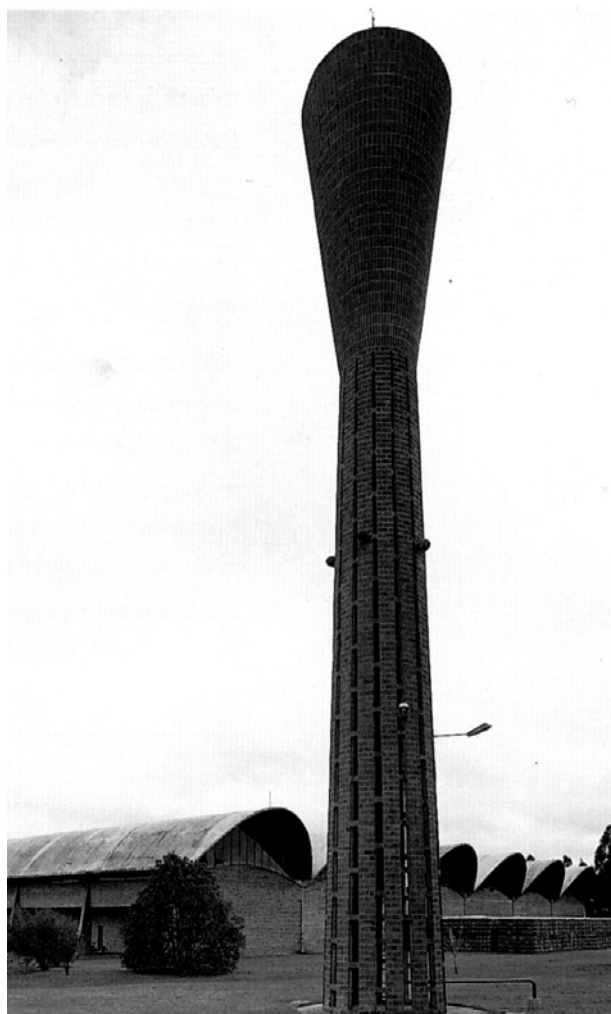


Figura 5.27 - Tanque de água: unidade e expressividade estrutural.

Outro exemplo de estrutura regradada, bastante utilizado por Dieste, são as torres. Geralmente eram utilizadas como antenas de rádio ou de televisão ou torres de igrejas, com alturas de até 100 m. A espessura das paredes destas torres variava, geralmente, entre 15 e 27 cm. Da mesma maneira como nos tanques de água, os esforços de flexão a que eram submetidas pela ação do vento eram absorvidos com armaduras verticais ancoradas à fundação, calculada para suportar as trações.

Para a execução de paredes e torres de maior porte, o procedimento construtivo com a utilização de gabaritos demandava um maior grau de precisão. Como exemplo, pode ser citado o caso da torre da Igreja de Malvin, com 27 m de altura, que apresentou um desaprumo na ordem de centímetros. Trata-se de uma superfície regradada com geometria circular na parte superior e uma forma que se assemelha à letra Omega na parte inferior.

5 – A tecnologia construtiva nas obras de Eladio Dieste: discussão e análise

A Figura 5.28 mostra uma vista geral da Torre da Igreja de Malvin que não chegou a ser totalmente construída e um detalhe onde se observa a espessura e a precisão na execução das juntas e disposição das peças cerâmicas.



Figura 5.28 - Torre de Malvin: construção inacabada.

Uma das obras de Dieste que é internacionalmente conhecida é o *Montevideo Shopping*, no Uruguai. Este projeto arquitetônico dos arquitetos Gomes Platero e López Rey contou com Dieste para projetar e calcular toda a estrutura de cerâmica armada, sendo decisiva sua intervenção no projeto arquitetônico. A Figura 5.29 mostra a fachada frontal do *Montevideo Shopping*.



Figura 5.29 – Fachada frontal do *Montevideo Shopping*, no Uruguai.

A solução estrutural adotada foi a utilização de superfícies regradas para as paredes externas, abóbadas de curvatura simples e de curvatura dupla para a cobertura.

O conjunto parede-cobertura trabalha todo sob pré-compressão. A obra é constituída por dois pavimentos com área coberta de 10.000 m². O piso intermediário atua como um tirante. As paredes externas resistem ao empuxo causado pelas abóbadas e são comprimidas através de cabos dispostos verticalmente entre as ondulações da superfície, como mostra a figura 5.30.

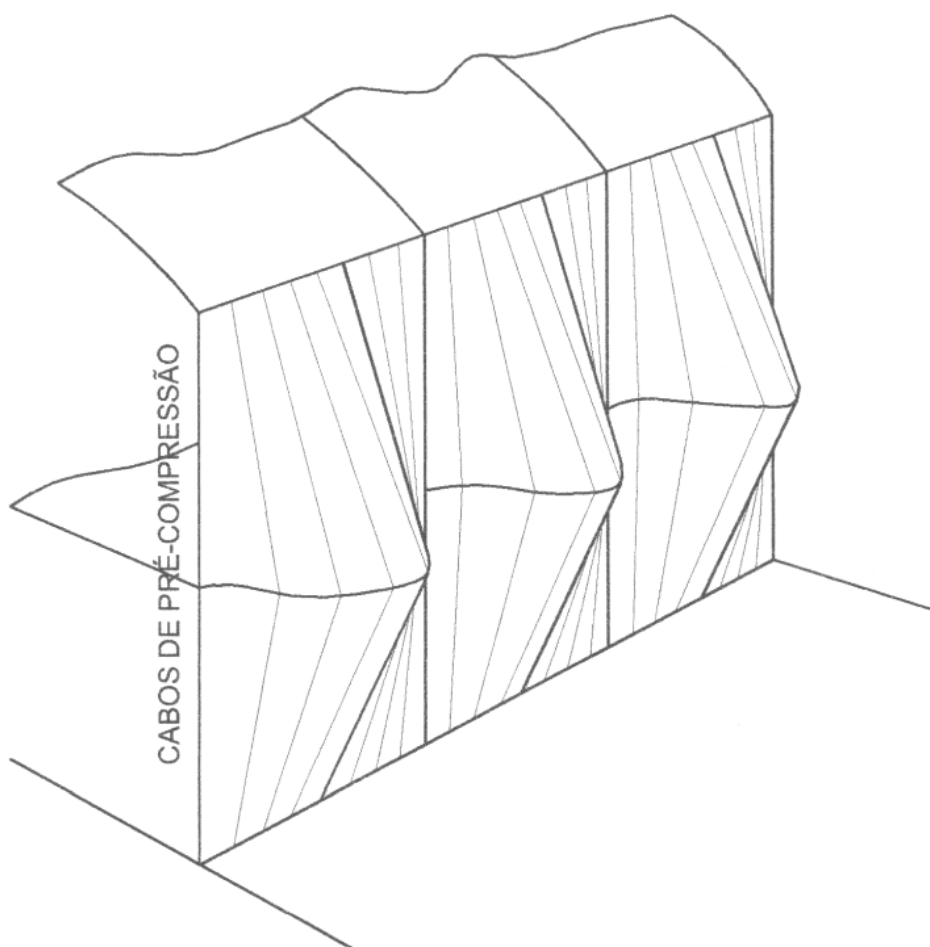


Figura 5.30 - Croqui das superfícies regradas do *Montevideo Shopping*.

Como as paredes regradas tendem a se esticar, por consequência tendem a comprimir o piso. Na parte média da cobertura surge um empuxo causado pelas abóbadas de tamanhos diferenciados: as abóbadas externas são de simples curvatura e a abóbada central é de curvatura dupla. A forma da abóbada central, mais acentuada, faz com que seu empuxo seja maior. A diferença de empuxo restante é absorvida por um tirante curvo embutido na abóbada central. A Figura 5.31 mostra um croqui do funcionamento estrutural do referido *Shopping*.

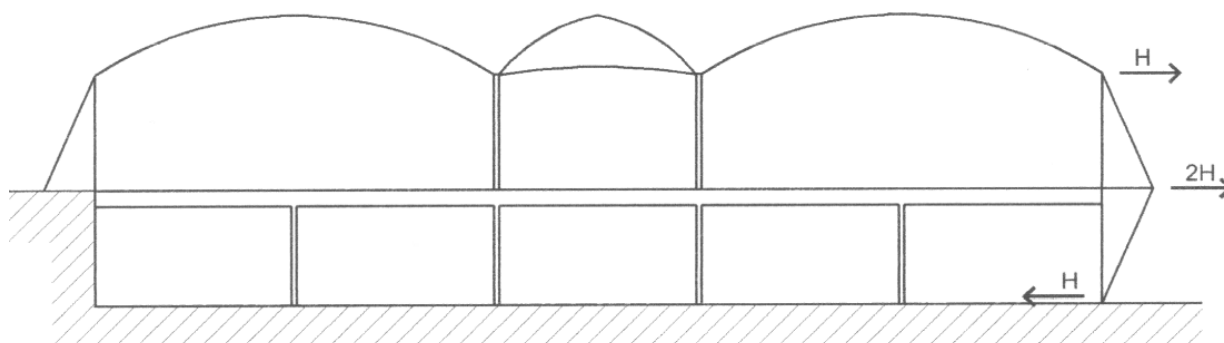


Figura 5.31 - *Montevideo Shopping*: esquema de modelo de comportamento estrutural.

Uma razão construtiva para o uso de superfícies regradas era a facilidade de construção a partir de fios-guia que reproduziam as retas geratrizes fixados em gabaritos de madeira ou metálicos, devidamente escorados. Este procedimento construtivo era adotado tanto para a execução de paredes como também de torres e tanques.

A construção das superfícies regradas iniciava-se pela demarcação da seção transversal da mesma ao nível do solo. O segundo passo era a reprodução da seção transversal da superfície com gabarito a, aproximadamente, 5 m de altura, sendo, no caso de torres com diretriz circular, metálica. Os fios-guia constituídos por fios de nylon eram esticados seguindo-se as diretrizes inferiores e superiores das paredes a serem construídas, de maneira que os tijolos eram colocados tangentes a estas guias, formando as superfícies regradas.

As superfícies regradas, na sua maioria, foram construídas com tijolos maciços de dimensões aproximadas de 25 x 12 x 2,5 cm, como apresentados na Figura 4.36. As ferragens utilizadas apresentavam as mesmas características das descritas anteriormente para as abóbadas.

A forma geométrica das superfícies regradas confere às seções horizontais um momento de inércia grande, com baixo consumo de material. Este fato permitiu a absorção de flexões maiores do que as estruturas planas, sem a necessidade de elementos resistentes adicionais como pilares de concreto ou metálicos.

O próximo item deste Capítulo apresenta a Igreja de Atlantida, constituída por superfícies regradas e cobertura em abóbadas de curvatura dupla.

5.2.2.1 Igreja de Atlantida: estrutura e técnicas construtivas

A estrutura global da Igreja de Atlantida é composta por paredes laterais, paredes frontais e de fundo e pela cobertura em abóbadas de curvatura dupla, todas em cerâmica armada.

As paredes laterais são formadas por superfícies regradas geradas por diretrizes não coplanares, sendo a diretriz inferior uma reta e a superior uma senóide, totalizando seis curvas com 7 m de altura. Como solução para fundação das paredes foram utilizadas estacas de pequeno diâmetro.

O procedimento construtivo foi o mesmo adotado para as torres descrito anteriormente. A geometria da superfície a ser construída foi reproduzida com fios de nylon fixos nos gabaritos que reproduzem as diretrizes superiores, servindo de guias para a colocação dos tijolos. A Figura 5.32 mostra uma vista geral da obra com as diretrizes inferiores e superiores reproduzidas para a execução das superfícies.

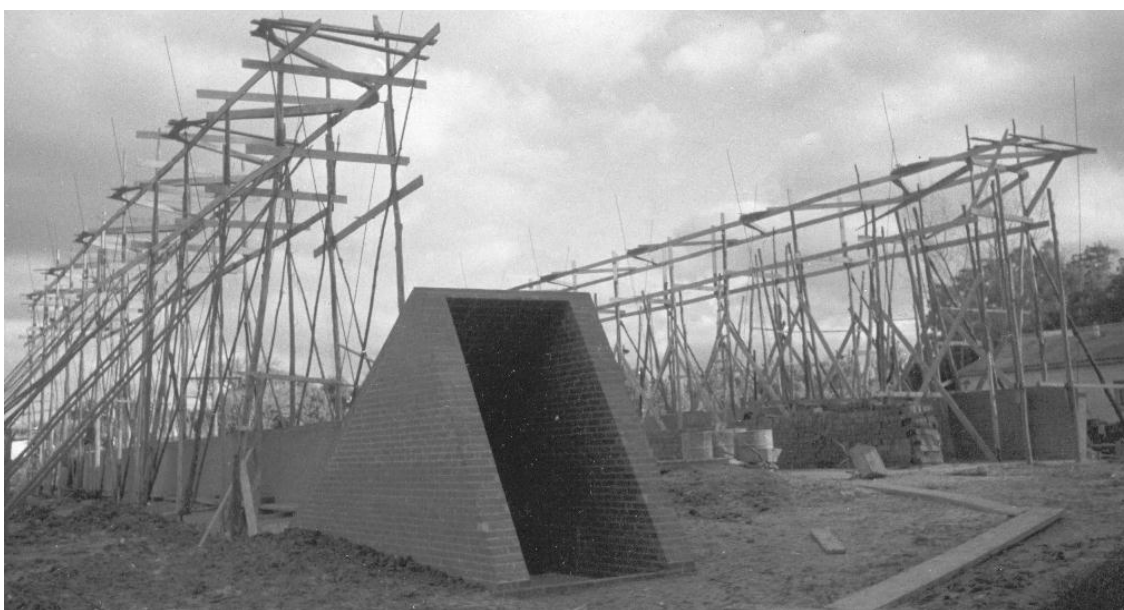


Figura 5.32 – Montagem de gabaritos e fios-guia para execução das paredes da Igreja de Atlantida.

A Figura 5.33 mostra a colocação das peças cerâmicas segundo os fios-guia durante a execução das paredes da Igreja de Atlantida.



Figura 5.33 - Execução das paredes de Atlantida: retas geratrizes reproduzidas por fios-guia fixos em gabaritos.

Estas paredes laterais são constituídas por duas fileiras de tijolos maciços, com espessura total de 30 cm, como o mostrado na Figura 4.36 do Capítulo 4, entre as quais foram dispostas armaduras verticais e horizontais. A armadura utilizada horizontalmente entre as fiadas possui diâmetro de 3 mm, o suficiente para dar-lhe unidade estrutural.

A cobertura da Igreja é composta por abóbadas de curvatura dupla com vão máximo de 18,80 m, espessura total de 15 cm e seções transversais de catenárias com flechas variando entre um máximo de 147 cm e um mínimo de 7 cm. O achatamento da curva da catenária da clave até o vale da onda, quase horizontal, é uma particularidade desta abóbada. O efeito visual interior, intencional, é o de uma reta.

O princípio estrutural desta abóbada pode ser descrito como o de uma viga apoiada em dois pilares e não como de um arco tradicional. O conjunto trabalha como uma viga de cerâmica armada formada por vários arcos e tirantes dispostos na mesma estrutura, criando um sistema de distribuição de forças e de reações. A solução utilizada para o equilíbrio deste sistema foi a utilização de um elemento rígido de união, chamado viga de borda, que foi executada antes da abóbada.

A Figura 5.34 mostra a viga de borda executada antes das abóbadas da cobertura da Igreja de *San Juan de Ávila*, na Espanha, mesmo procedimento anteriormente adotado na Igreja de Atlantida.



Figura 5.34 - Detalhe de execução da abóbada: viga de borda previamente construída.

A viga de borda que recebe os esforços horizontais dos arcos das abóbadas da cobertura é sustentada por tirantes embutidos nos vales das abóbadas. Na Igreja de Atlantida, esta viga foi executada em concreto e revestida em cerâmica devido à disposição das armaduras que impossibilitou sua execução em cerâmica armada. Foi disposta uma armação de aço comum, com diâmetro de 25 mm, nos extremos da viga horizontal.

As forças verticais são absorvidas pelas paredes, onde existem as meias vigas genéricas e as meias vigas extremas. Nas Figuras 5.35 e 5.36, os desenhos apresentam uma idéia de como foram solucionados os detalhes construtivos de ancoragem dos tirantes na viga de borda, no local de maior esforço.

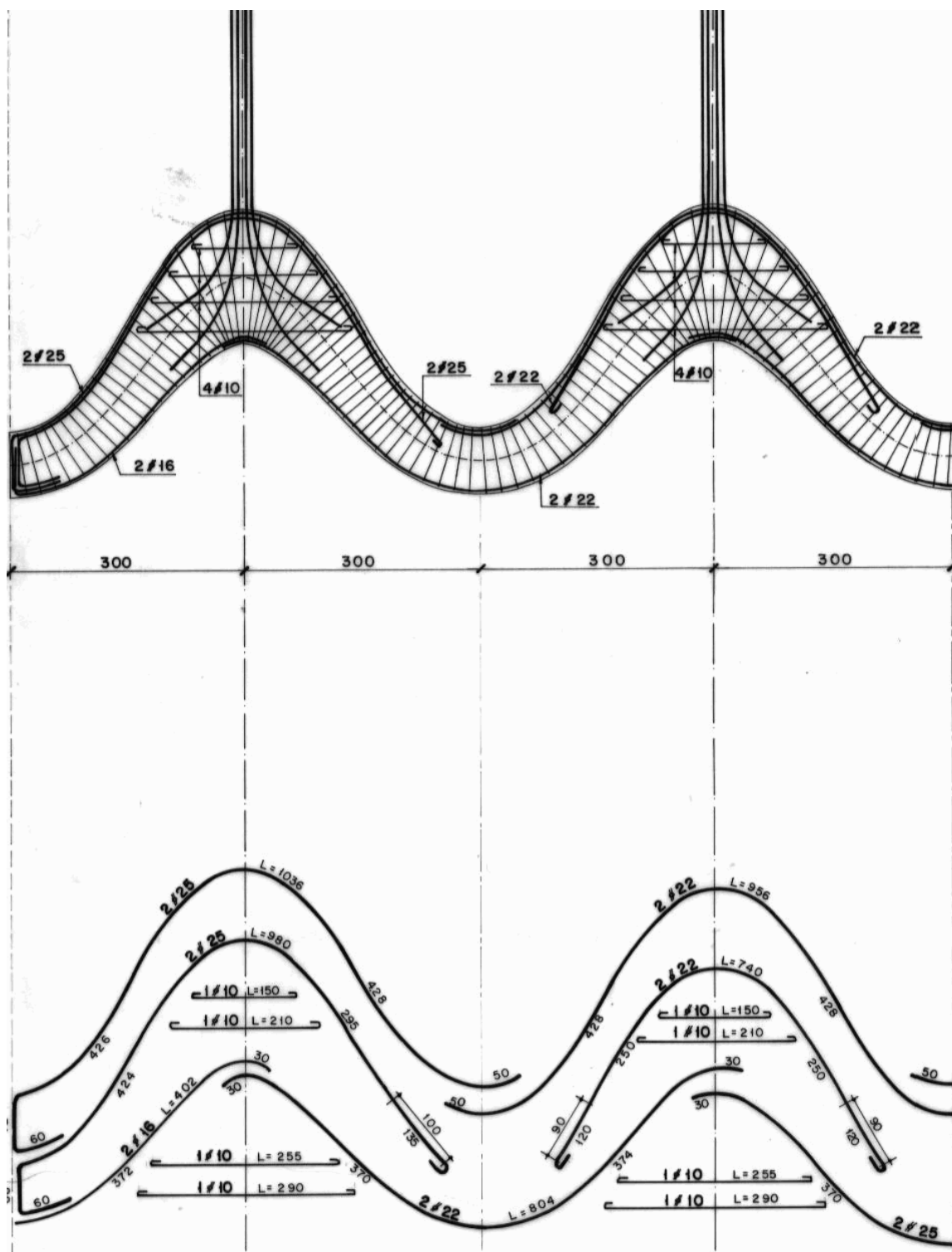


Figura 5.35 – Detalhes construtivos de Atlantida: armadura da viga de borda.

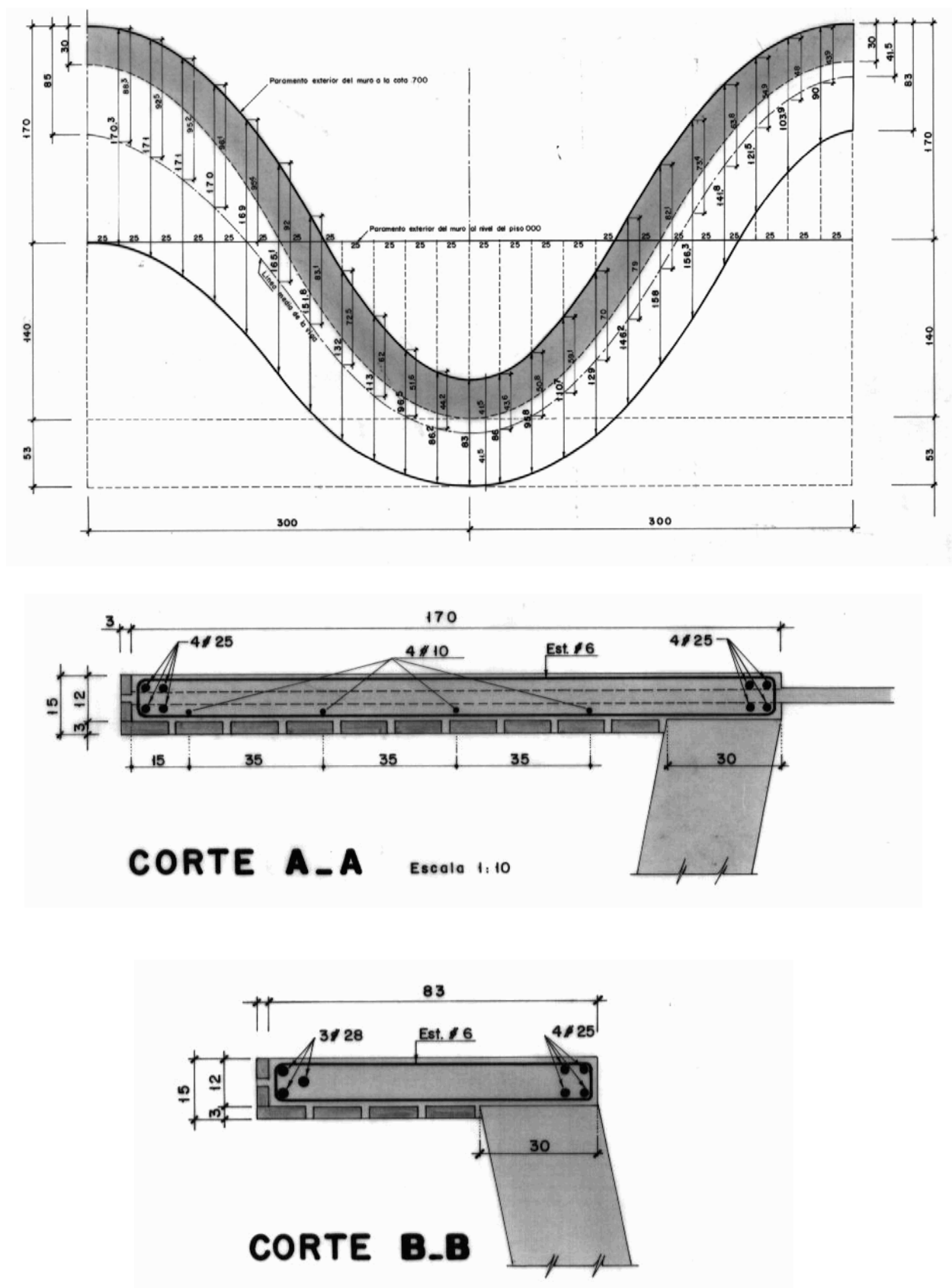


Figura 5.36 – Detalhes construtivos de Atlántida: sistema de reforço da viga de borda.

Os tirantes encontram-se embutidos nos vales das ondas, portanto em planos verticais diferenciados dos arcos. São formados por armadura horizontal passiva forte de aço comum liso com tensão de escoamento da ordem de 240 MPa.

A abóbada é constituída por tijolos cerâmicos furados, próprios para lajes, nas dimensões de 25 x 25 x 8 cm, entre os quais foi disposta a armadura. Toda a cobertura é revestida internamente com peças cerâmicas retangulares nas dimensões de 12 x 25 x 3 cm (Figura 4.41).

A Figura 5.37 mostra detalhes da execução de abóbada de curvatura dupla, a exemplo da execução da cobertura da Igreja de Atlantida. Observa-se a colocação das peças cerâmicas de revestimento interno, dos blocos cerâmicos furados e da armadura e tirantes.

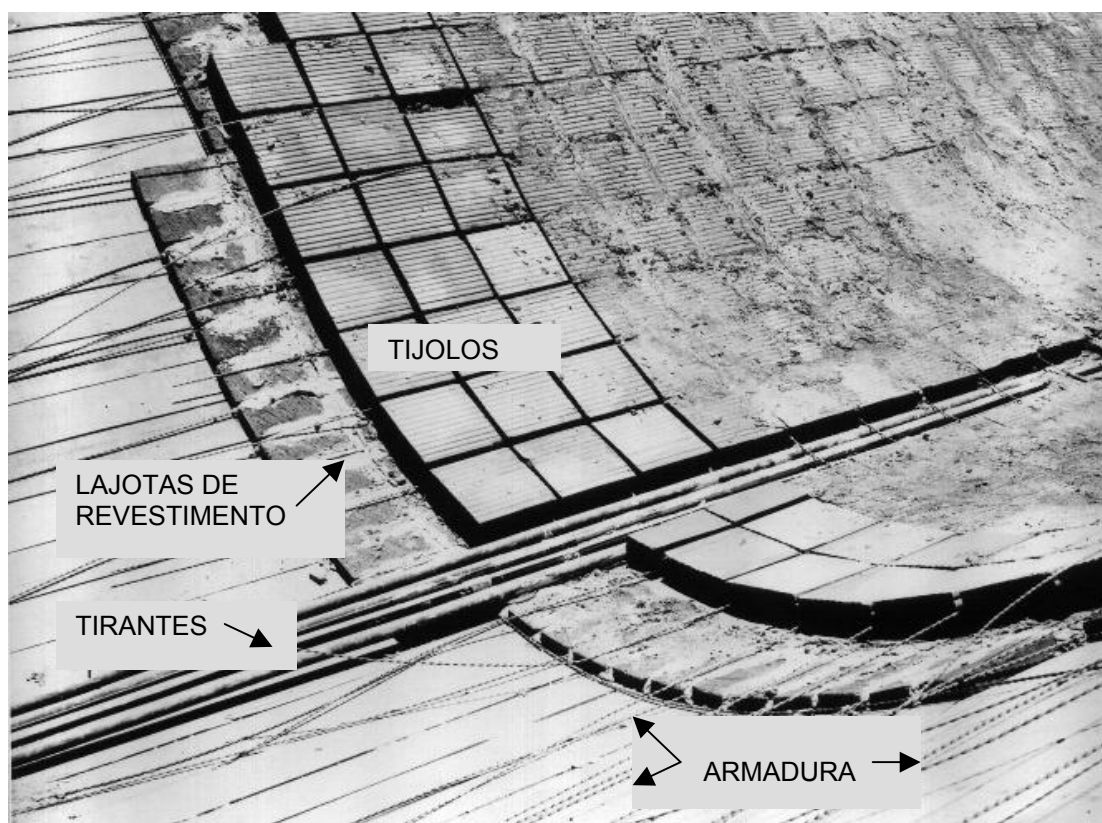


Figura 5.37 - Detalhes de execução de abóbada de curvatura dupla: colocação da armadura e das peças cerâmicas.

Como toda a estrutura da Igreja de Atlantida, o coro foi construído em cerâmica armada, tanto o piso, como a escada e o guarda-corpo. Este guarda-corpo foi destruído por um morador da vila, logo após o término da obra e reconstruído por um pedreiro local na época, sem acompanhamento técnico. Somente em 2003, quando

iniciados os serviços de restauração, este foi reconstruído com a técnica apropriada, com ferragem entre os tijolos para cumprir sua função de proteção (DIESTE, 2003 b). A Figura 5.38 mostra em detalhe partes do coro e da escada de acesso.

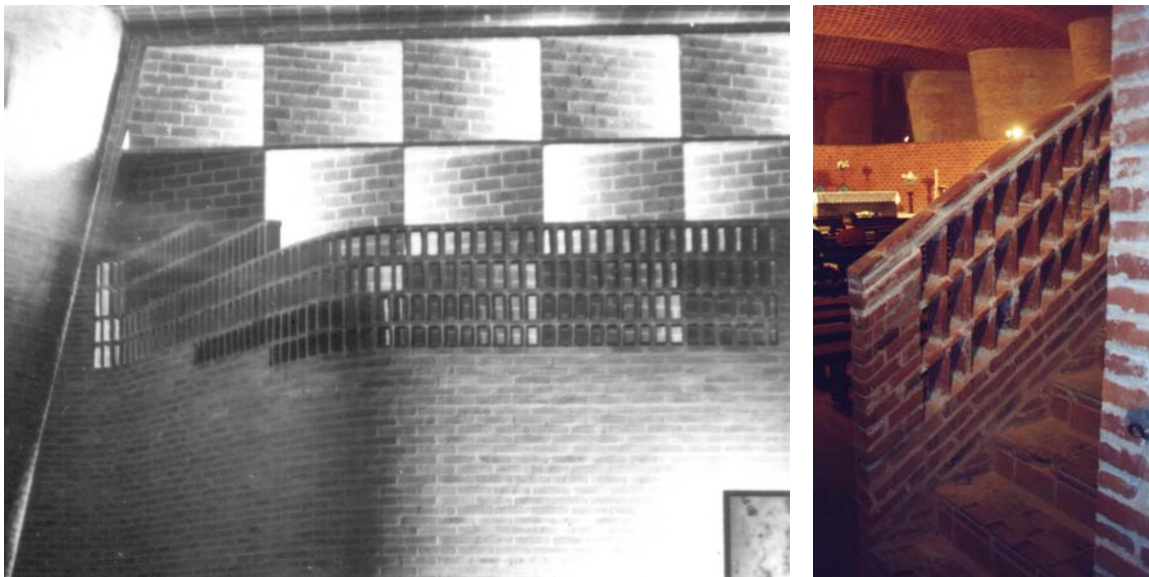


Figura 5.38 - Detalhes do coro de Atlantida: guarda-corpo, pára-sóis e escada.

A torre do campanário foi construída empregando-se a mesma tecnologia dos tanques de água (item 5.2.2 - Superfícies regradas) conformando uma lâmina descontínua de tijolos cerâmicos composta por elementos verticais reforçados.

Uma consideração a ser feita quanto aos métodos construtivos é que a construção desta igreja iniciou-se no ano de 1958 e a utilização de sistemas de protensão não era usual, tampouco eram utilizadas armaduras de textura corrugada. Portanto, a técnica desenvolvida empregou tirantes lisos de armadura passiva que eram solicitados como decorrência da deformação do arco. Para evitar que essa deformação fosse muito grande, ocasionando rachaduras em toda a abóbada, foram utilizados tirantes de grande diâmetro (38 mm) com tensão de ruptura da ordem de 300 MPa, seis vezes menos que os tirantes de protensão utilizados atualmente. Estes tirantes necessitavam de pouca deformação para assumir a tensão necessária, ao contrário de cabos de pequeno diâmetro que exigiriam uma grande deformação para trabalhar.

5.2.2.2 Processo de execução de superfícies regradadas

As superfícies para as quais Dieste desenvolveu tecnologias são quase todas curvas, como é o caso das superfícies regradadas. No Brasil, a linguagem formal adotada para a grande maioria dos projetos, principalmente em alvenaria estrutural, é a linguagem ortogonal, de superfícies planas e retas. Por consequência, para execução destas superfícies empregam-se equipamentos como réguas graduadas com níveis de bolha, gabaritos e escantilhão para controles de espessura de juntas, nivelamento e alinhamento das peças.

A Figura 5.39 mostra a utilização de alguns destes equipamentos na execução de paredes em alvenaria estrutural, com blocos de concreto de um prédio residencial. Trata-se de um exemplo típico de obras realizadas no Brasil, com paredes verticais, planas e ortogonais.



Figura 5.39 – Execução de superfície vertical, no Brasil: emprego de régua e escantilhão.

As superfícies regradadas são paredes que apresentam maior grau de complexidade de execução se comparadas às obras convencionais executadas no Brasil. Apesar desta complexidade, Dieste desenvolveu tecnologia própria, empregando gabaritos e fios-guia.

5 – A tecnologia construtiva nas obras de Eladio Dieste: discussão e análise

A Figura 5.40 mostra a seqüência executiva de uma torre de televisão de 100 m de altura, exemplo de tipologia em superfície regradada, executada em Campo Grande, Brasil.



Figura 5.40: Seqüência de execução de torre de televisão, no Brasil: superfície regradada.

Os procedimentos construtivos adotados para a execução das tipologias em superfícies regradadas, como mostrado anteriormente, podem ser assim enumerados:

- a) Demarcação da seção da superfície a ser construída ao nível do solo;
- b) Reprodução da seção da superfície a ser construída, ou seja, a execução e montagem de gabarito de madeira ou metálico, devidamente escorado, de acordo com a diretriz superior, a uma altura de aproximadamente 5 m;
- c) Demarcação do perfil das superfícies a serem construídas com fios-guia, geralmente de nylon, seguindo-se as diretrizes inferior e superior;
- d) Colocação das peças cerâmicas em posição tangente aos fios-guia;
- e) Colocação das armaduras vertical e horizontal entre as peças cerâmicas, em função das especificações do cálculo estrutural. A armadura horizontal disposta entre as fileiras, geralmente de 3 mm, era o suficiente para assegurar a unidade estrutural;
- f) Repetição das etapas de demarcação das superfícies utilizando-se gabarito e fios-guia e de colocação das peças e armaduras até a conclusão de toda a seção longitudinal da superfície regradada.

Os procedimentos executivos enumerados acima são indicados nas figuras subseqüentes.

A Figura 5.41 mostra a execução de uma parede da Igreja de Atlantida e a Figura 5.42, a de um tanque de água, ambos no Uruguai.

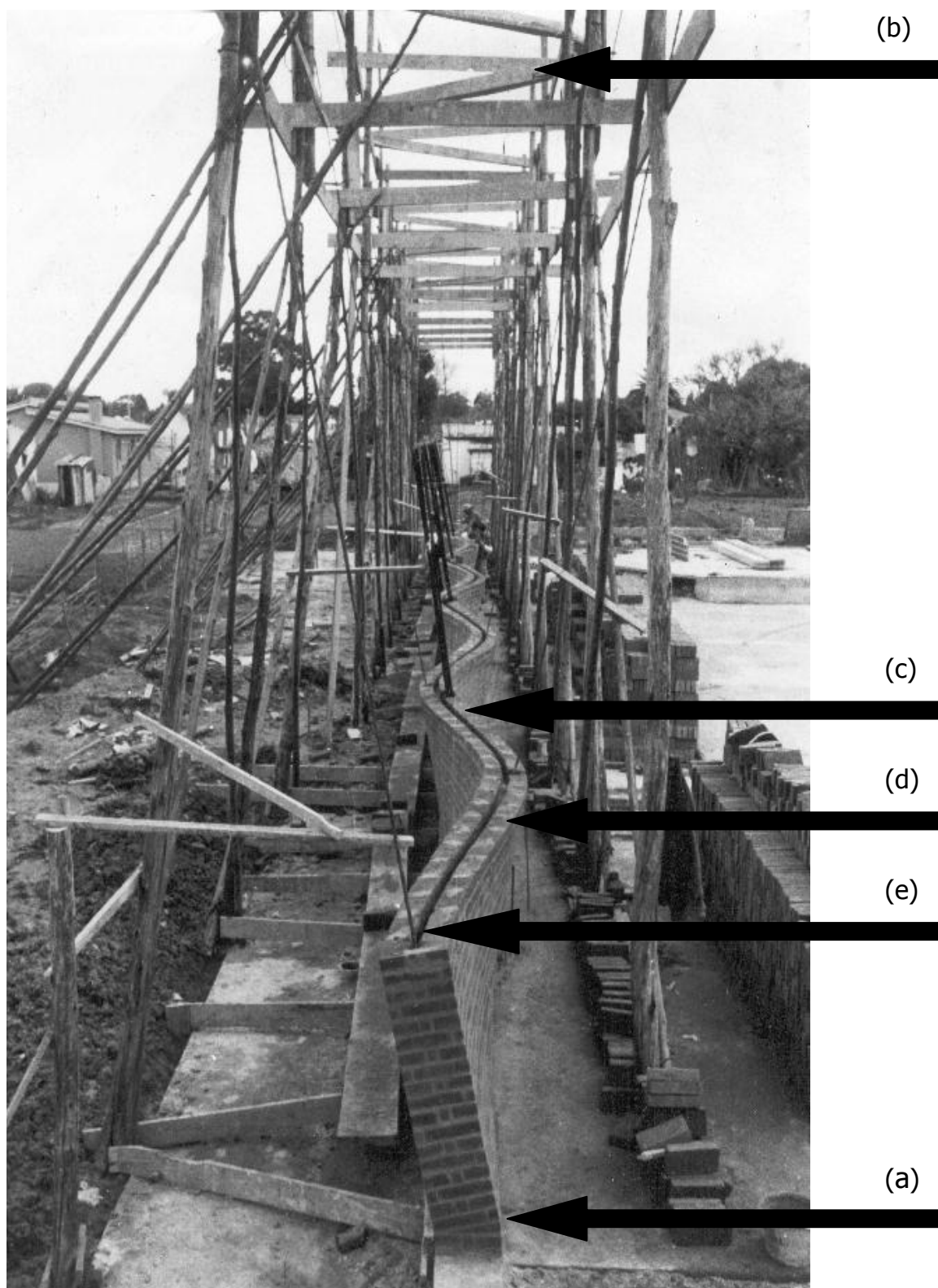


Figura 5.41- Execução da superfície regradada da Igreja de Atlantida: utilização de sistema de reprodução das diretrizes inferior e superior com gabarito e de fios-guia.

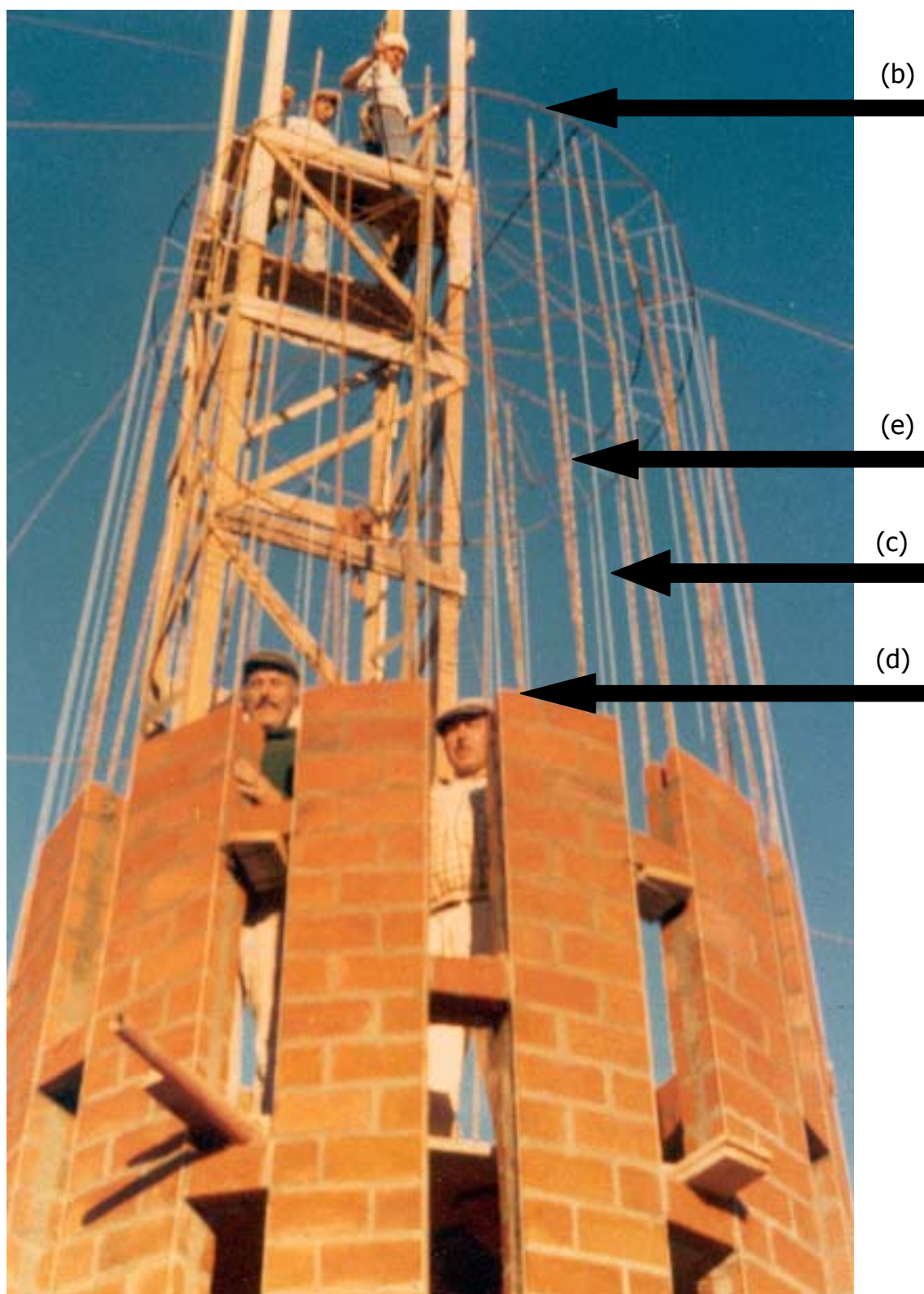


Figura 5.42 - Execução de um tanque de água, no Uruguai: utilização de sistema de reprodução da diretriz superior com gabarito e de fios-guia.

5.2.3 Superfícies em planos

As superfícies em planos são estruturas formadas por planos em diferentes direções e inclinações. São estruturas armadas, assim como as superfícies regradas, e se apoiam umas nas outras.

Existem poucos registros de utilização deste tipo de estrutura por Dieste. Uma de suas primeiras experiências utilizando esta solução foi para a cobertura de um ginásio, no Uruguai, nos anos sessenta. Tratava-se de um concurso, um complexo de alojamentos para estudantes, desenvolvido juntamente com os arquitetos Justino Serralta e Carlos Clemont. O alojamento era uma proposta no estilo tipicamente Corbusiano com a solução da cobertura em forma de superfície em planos. A tecnologia construtiva consistia na armação de pequenas lajes no solo que depois eram montadas no local. Esta solução também foi usada para outras construções de menor porte como uma pequena casa para sua família em um balneário ao norte de Montevideu, algumas cooperativas e habitações populares (DIESTE, 2003 b).

Este tipo estrutural foi utilizado para a cobertura da Igreja de Durazno das naves laterais e da nave principal, bem como para a parede lateral da nave central, que será discutido a seguir no item 5.2.3.1 – Igreja de Durazno: estrutura e técnicas construtivas, deste Capítulo.

Posteriormente este mesmo projeto foi adaptado e construído na Espanha, a Igreja *Madre Del Rosário*, com menores dimensões. A Figura 5.43 mostra uma vista interior da Igreja *Madre Del Rosário*.

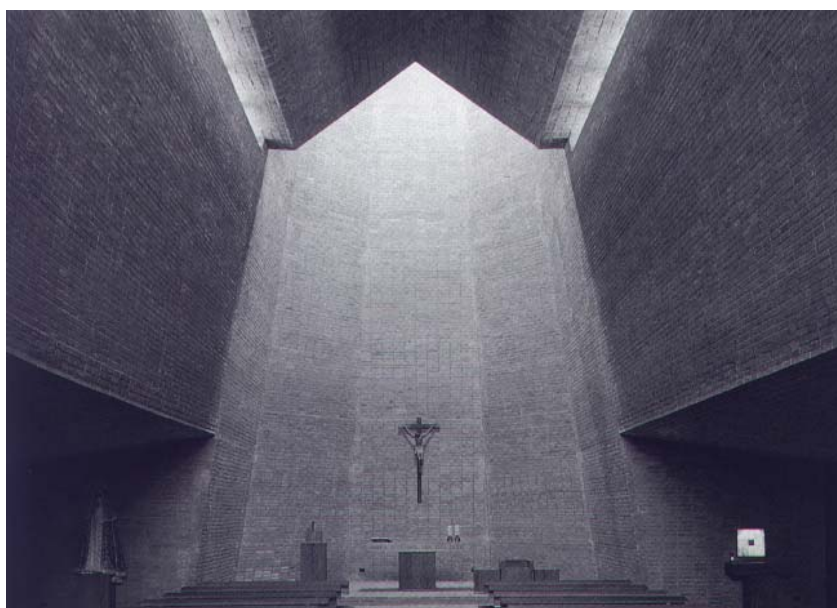


Figura 5.43 - Interior da Igreja *Madre Del Rosário*: superfícies em planos.

Para a execução das superfícies em planos empregavam-se preferencialmente os tijolos maciços e o mesmo tipo de ferragem descrita anteriormente neste capítulo.

As estruturas em planos não possibilitam a reutilização dos moldes na execução de uma mesma obra, não apresentando as vantagens construtivas das superfícies regradadas, torres, cascas e abóbadas. Este é um dos motivos para que este tipo de solução não tenha sido tão utilizada por Dieste quanto as demais tipologias anteriormente discutidas neste Capítulo (LARRAMBEBERE, 2003; CASTRO, 2003; DIESTE, 2003 a).

5.2.3.1 Igreja de Durazno: estrutura e técnicas construtivas

Para a Igreja de Durazno, Eladio Dieste, ao invés de curvas, optou pelo uso de superfícies planas, embora o comportamento estrutural destas superfícies seja o de casca (*folded plates*) e não de somatória de pilares e vigas. São estruturas de cerâmica armada protendida em planos com a particularidade de possuir grandes dimensões transversais e longitudinais.

O conjunto estrutural desta Igreja é constituído por cinco elementos, sendo os pórticos de entrada e do fundo os dois de sustentação. Os outros três elementos são estruturas em planos, sendo dois simétricos formados pelas paredes e coberturas das naves laterais e paredes da nave principal com três planos cada uma, e a cobertura da nave central, estrutura única formada por dois planos (Figura 4.30).

Cada uma destas superfícies em planos trabalha longitudinalmente como viga apoiada nos pórticos extremos, sendo o frontal em concreto revestido com cerâmica e o posterior de cerâmica armada, integrado à torre do presbitério. Estes pórticos funcionam como ponto de apoio para as superfícies internas.

A Figura 5.44 mostra em detalhe o projeto do pórtico da torre do presbitério, uma etapa de execução e uma vista externa do mesmo após conclusão da obra.

5 – A tecnologia construtiva nas obras de Eladio Dieste: discussão e análise

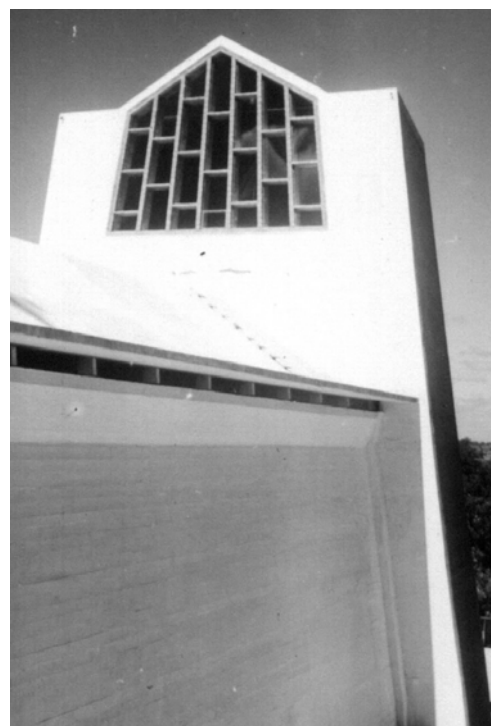
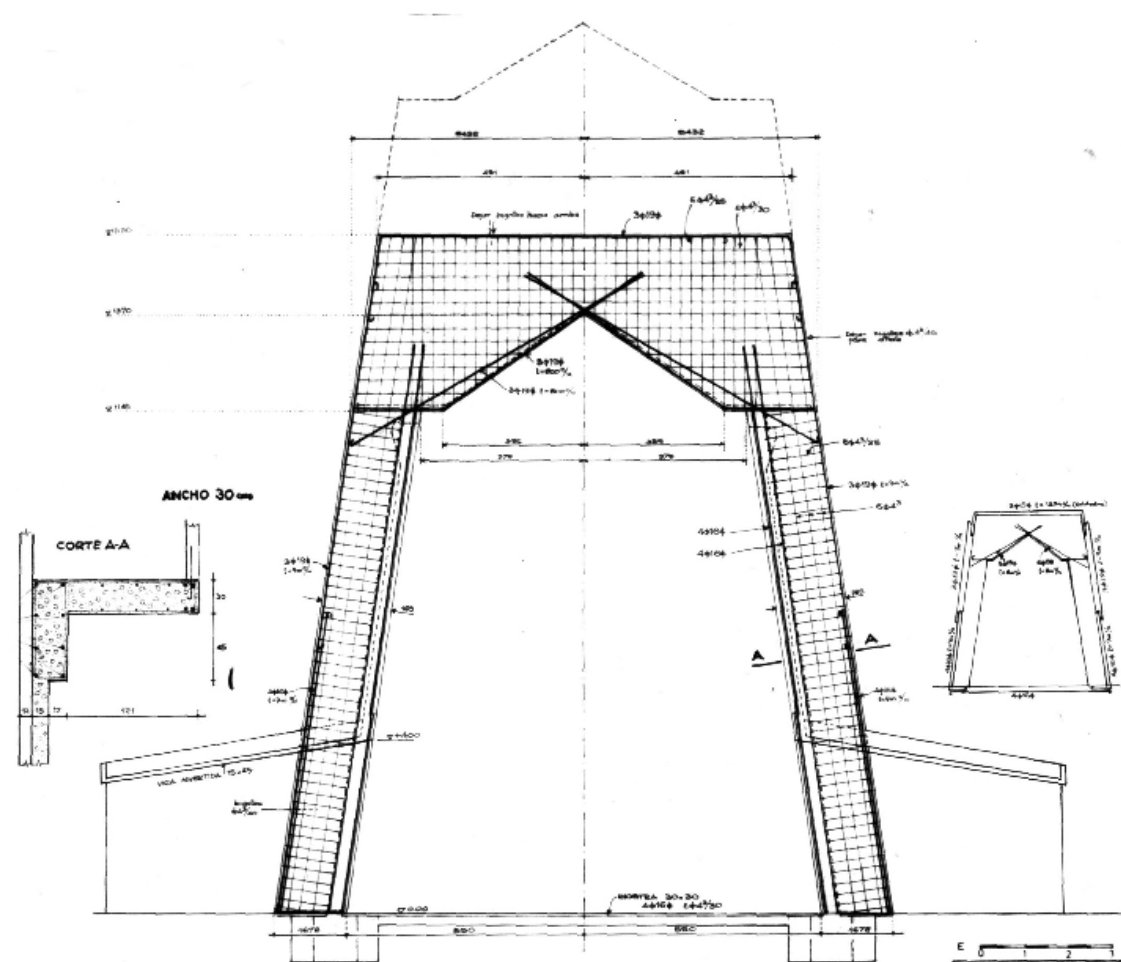


Figura 5.44 - Detalhe de projeto e de execução e vista do pórtico posterior acabado da Igreja de Durazno.

As paredes antigas das naves laterais em alvenaria cerâmica foram reforçadas por paredes inclinadas, armadas, de tijolos com 12 cm de espessura. As coberturas das naves laterais são constituídas por lajes de tijolos armadas com vigas de concreto em seus extremos, apoiadas nas paredes laterais.

As paredes laterais da nave central comportam-se como vigas pré-comprimidas com 32 m de vão e apoiadas em pilares de reforço na parede do átrio e no pórtico construído na parede do presbitério. Como era necessária a colocação de cabos de protensão, foram dispostos seis cabos de 240 kN cada, sendo necessário engrossar a parede, fazendo-se uma superfície mista de concreto e tijolos. Estas paredes são fixas horizontalmente pela estrutura da cobertura.

Da mesma maneira que as paredes laterais, a cobertura da nave central é composta por duas superfícies em planos, pré-comprimidas, com 32 m de vão. Estas possuem 8 cm de espessura cada, exceto nos locais onde passam os cabos de pré-compressão, que trabalham longitudinalmente como vigas. As superfícies se apóiam, uma à outra, na aresta superior e nas paredes laterais da nave central através de pilares metálicos de pequena dimensão. Cada uma delas possui em suas arestas, uma série de seis cabos de protensão de 240 kN. Como em uma viga, os cabos de protensão foram colocados na parte inferior, na região de maior deformação e foram ancorados.

A título de ilustração, a Figura 5.45 mostra em projeto as vigas das paredes laterais da nave central e a Figura 5.46 mostra, em projeto, os cabos de protensão da cobertura central da Igreja de Durazno.

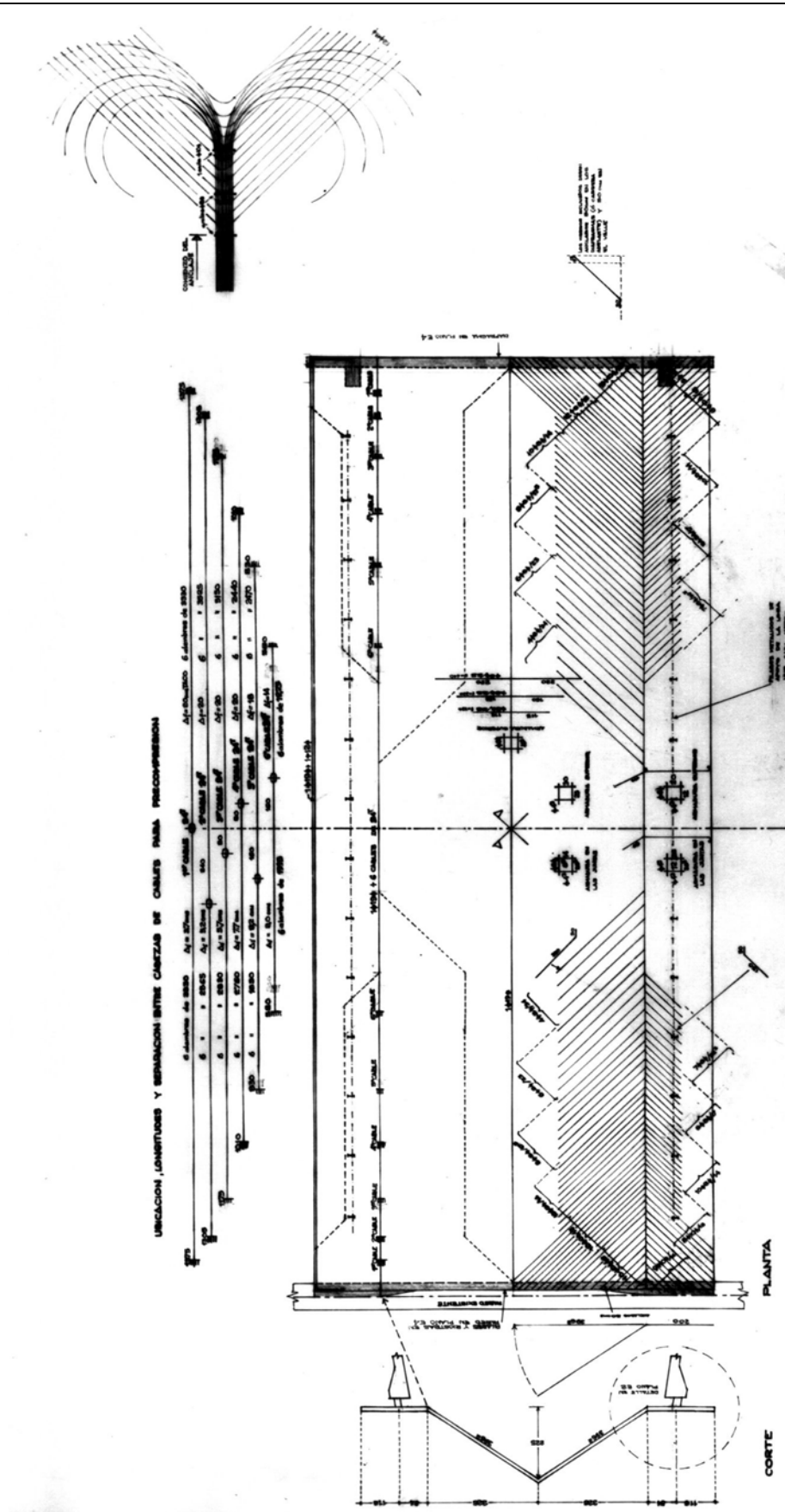


Figura 5.46 – Detalhe dos cabos de protensão da cobertura central de Durazno.

Todas as superfícies em planos da Igreja de Durazno são fundamentalmente independentes embora estejam vinculadas. Cada plano apóia-se no outro de maneira que todos trabalham sob pré-compressão. Esta independência entre as superfícies, reflexo da solução estrutural é ressaltada com um rasgo longitudinal que separa a cobertura das paredes laterais da nave central. O comportamento estrutural fica evidenciado por este elemento que também é utilizado como entrada de luz. A Figura 5.47 mostra um detalhe desta solução.

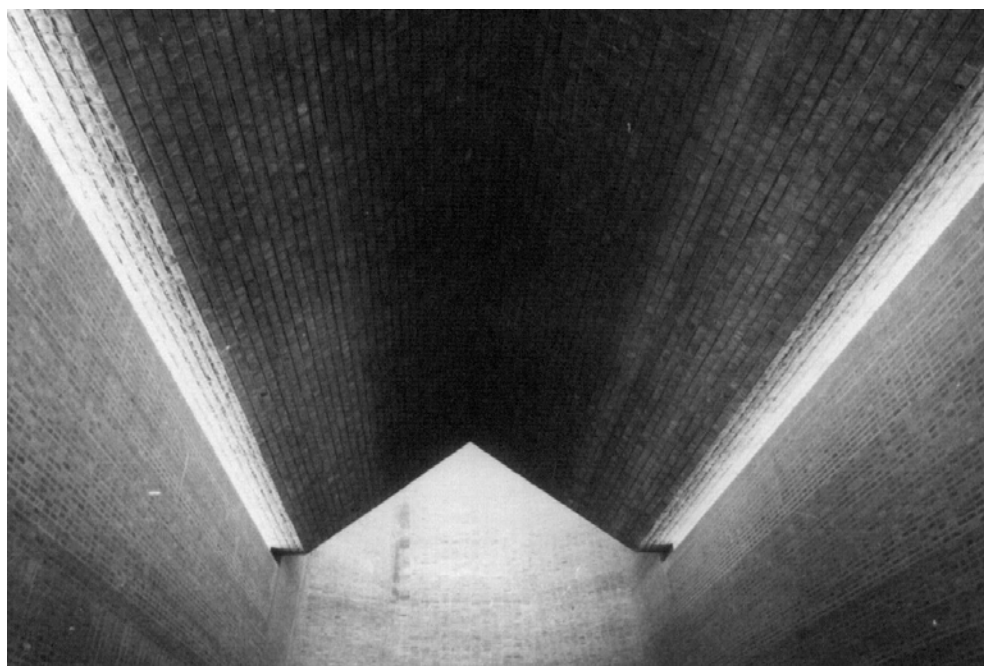


Figura 5.47 – Detalhe do rasgo longitudinal: independência das superfícies em Durazno.

Diferentemente das abóbadas que são construídas por partes, para a execução destas superfícies foram montados os moldes completos de cada parte da estrutura. Após o escoramento de todo o conjunto de moldes, as superfícies em planos foram construídas e protendidas para a posterior desforma, respeitados os prazos definidos em projeto.

A torre do presbitério foi construída como paredes-diafragma de cerâmica armada com 18,40 m de altura, inclinadas para o centro em relação à sua base. Cada parede consiste em duas cascas de tijolos armados conectados horizontal e verticalmente por vigotas também de cerâmica armada, com os lados variando entre 1,00 m e 1,60 m de comprimento. As cascas internas e externas foram armadas para suportar os esforços de vento. A Figura 5.48 mostra uma visão externa desta torre.

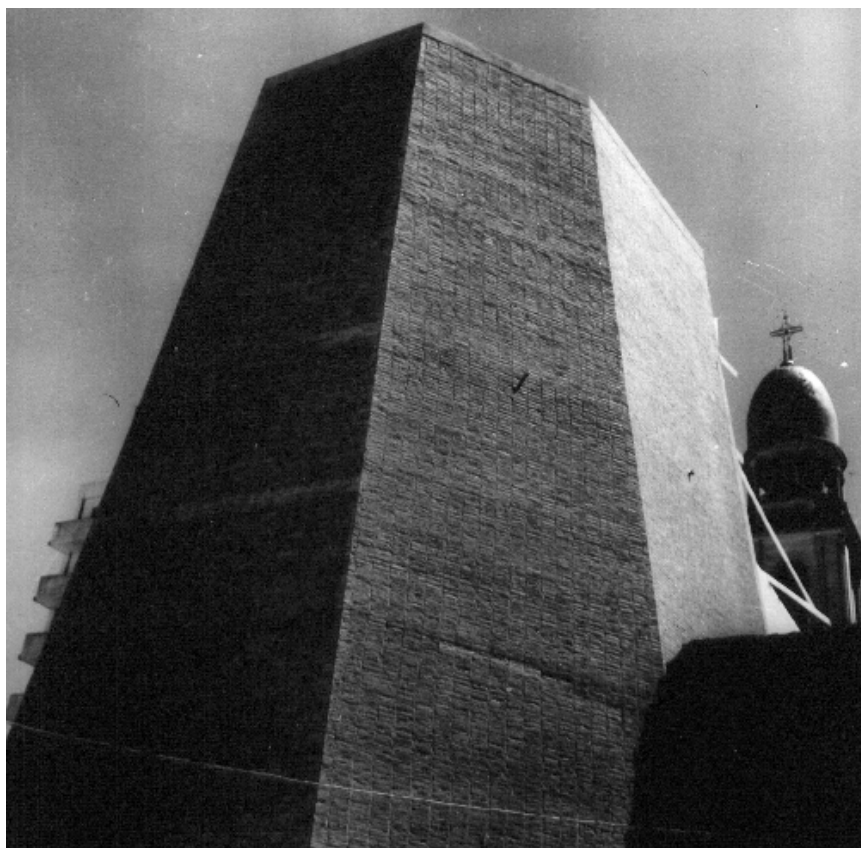


Figura 5.48 - Vista externa da torre de Durazno.

Para a construção da rosácea na parede frontal da Igreja, decisão tomada após a execução das demais superfícies, foi executado um pórtico de concreto. Este substituiu as colunas de aço pré-existent, permitindo descarregar todo o peso da torre nas paredes do átrio, ao nível intermediário e não ao nível da fundação. Esta solução permitiu demolir a parte superior da parede para a colocação da rosácea que ocupa praticamente toda a sua largura.

A rosácea é constituída por diafragmas hexagonais de cerâmica armada de 5 cm de espessura que trabalham à compressão. O hexágono menor possui um anel de aço fixado na junta da alvenaria, no qual foram soldados seis tirantes de aço que se estendem às arestas dos demais hexágonos e são fixados na alvenaria da parede. Os diafragmas foram apoiados por pequenas peças de aço dobrado e soldado aos tirantes em cada aresta dos hexágonos.

A Figura 5.49 mostra um detalhe da rosácea da Igreja de Durazno no qual é possível observar as peças cerâmicas e os tirantes.



Figura 5.49 - Detalhe da rosácea da Igreja de Durazno.

Uma solução especial para suportar os esforços de tração e eliminar o risco de flambagem nos tirantes foi, antes de liberar os moldes no conjunto da estrutura, cortar os extensores superiores e soldá-los, de maneira a induzir à parede existente uma força aproximada de 10 kN/tirante, possível de ser suportada.

A Figura 5.50 mostra um estudo de tensões na rosácea da Igreja de Durazno, pelo próprio punho de Dieste.

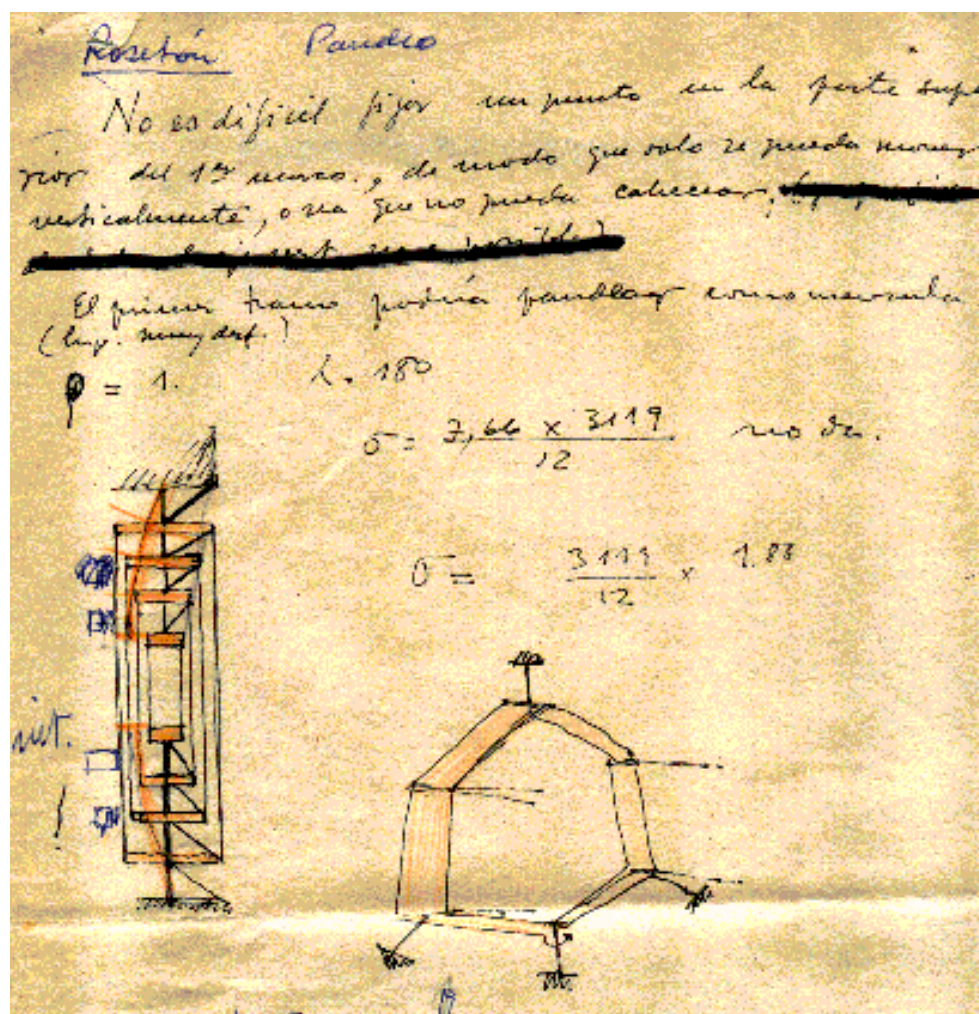


Figura 5.50 - Estudo das tensões na rosácea de Durazno: esboço de Dieste.

5.3 Processo de produção

A análise do processo de produção empregado por Dieste tem como foco as tarefas desenvolvidas no canteiro de obras. Dieste fabricou elementos de moldes modulares móveis, gabaritos e equipamentos com vistas à sua facilidade de utilização e reaproveitamento, demonstrando constante preocupação com as tarefas desempenhadas pelos operários.

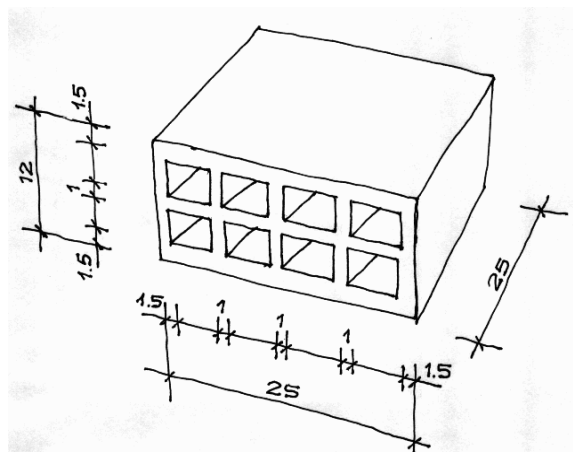
Os limites de projeto em termos de forma e tipologia, de dimensões de vão e altura das paredes e da relação vão e flecha em abóbadas de cobertura e paredes de silos eram definidos, dentre outros, pelas características do material disponível localmente.

5.3.1 Características geométricas e mecânicas do material cerâmico

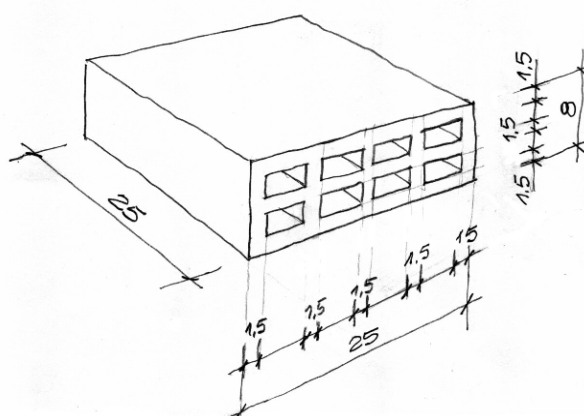
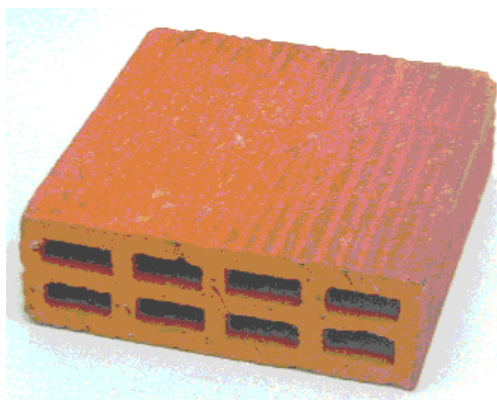
As peças cerâmicas empregadas nas obras de Dieste eram as fabricadas pela indústria local, podendo ser classificadas em blocos industrializados, de boa qualidade, e em tijolos de pequenas fábricas, fabricados sem maior controle de qualidade, denominados neste trabalho de tijolos maciços.

Os tijolos maciços apresentam resistência média variando na faixa de 2 a 10 MPa. Suas dimensões padrões eram de 25 x 12 x 5,5 cm, embora na prática apresentassem variações dimensionais (Figura 4.36). Estes tijolos maciços eram utilizados, geralmente, para a construção das superfícies regradas e das superfícies em planos.

Os blocos cerâmicos utilizados por Dieste eram, geralmente, de oito furos, com dimensões de 25 x 25 x 12 cm e de 25 x 25 x 8 cm. A resistência média (área líquida) destes blocos encontrados no Uruguai variava entre 10 e 25 MPa, dependendo do fabricante. A Figura 5.51 mostra os blocos cerâmicos fabricados no Uruguai e empregados por Dieste em muitas de suas construções.



(a) Blocos cerâmicos furados: 25 x 25 x 12 cm.



(b) Blocos cerâmicos furados: 25 x 25 x 8 cm.

Figura 5.51 – Blocos cerâmicos furados fabricados no Uruguai.

Os tijolos e blocos cerâmicos eram molhados antes da execução da alvenaria para aumentar a aderência com a argamassa das juntas. Para controle da resistência desses elementos eram realizados ensaios periódicos de lotes do material. No caso das abóbadas autoportantes, os blocos eram ensaiados nas duas direções nas quais eram solicitados.

A comparação entre as características geométricas e mecânicas dos tijolos e blocos cerâmicos fabricados no Uruguai e empregados por Dieste, e as dos especificados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), demonstra que também no Brasil são produzidos materiais cerâmicos com características similares, sob o ponto de vista de geometria e dimensões.

De acordo com a Norma Brasileira (NBR) 7171 (ABNT, 1992 a) e a NBR 8042 (ABNT, 1992 b), os blocos cerâmicos devem ser em forma de paralelepípedo com furos prismáticos e/ou cilíndricos, como mostrado na Figura 5.52.

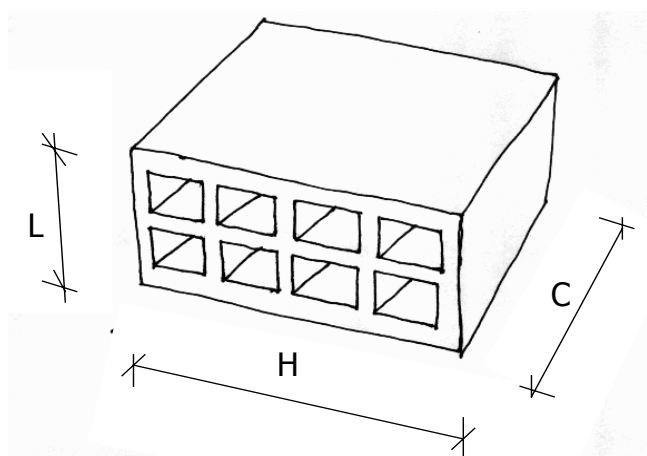


Figura 5.52 – Definições dimensionais para blocos cerâmicos de acordo com a NBR 7171 (ABNT, 1992 a).

As dimensões L (largura), H (altura) e C (comprimento) para blocos cerâmicos, de acordo com a ABNT (1992 a), variam de acordo com a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Dimensões nominais para blocos cerâmicos (ABNT, 1992 a)

Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)
90	190	190
115		240
140		290
190		390

Segundo a Norma Brasileira (ABNT, 1992 b), a espessura das paredes dos blocos cerâmicos é, no mínimo, igual a 7 mm e a resistência à compressão mínima, relacionada à área bruta, deve atender aos valores da Tabela 5.2. Observa-se na Figura 5.51 que Dieste empregou blocos cujas paredes eram mais espessas (entre 10 e 15 mm) e com resistências mais elevadas.

Tabela 5.2 – Resistência à compressão para blocos cerâmicos (ABNT, 1992 b)

Classe	Resistência à compressão na área bruta (MPa)
10	1,0
15	1,5
25	2,5
45	4,5
60	6,0
70	7,0
100	10,0

Para a execução das abóbadas, em função de fatores como dimensões, tipologia e relação vão e flecha, eram utilizados, geralmente, blocos furados como os descritos anteriormente ou blocos furados com abas, chamados *bovedilla* no Uruguai, que apresentam dimensões de 25 x 25 x 15, conforme mostra a Figura 5.53.

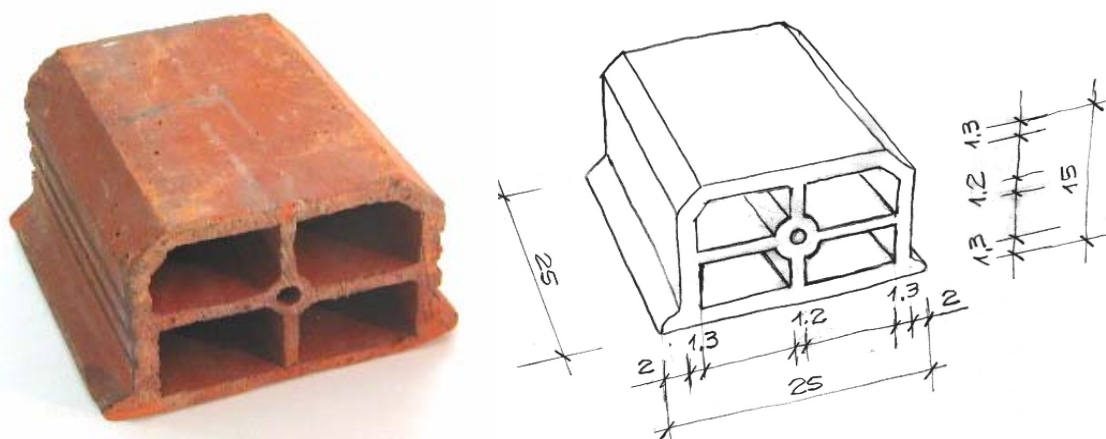


Figura 5.53 – Blocos cerâmicos furados com abas: 25 x 25 x 15 cm.

A incorporação de armadura e o uso de argamassa adequada tornaram a utilização de material cerâmico com fins estruturais de baixo custo, se comparado ao concreto armado, para um mesmo tipo de estrutura. A inovação nas obras em cerâmica armada de Dieste encontra-se fortemente vinculada à exploração de tipologias e ao desenvolvimento de uma tecnologia construtiva.

5.3.2 Juntas, argamassas, armaduras e protensão

A espessura das juntas, além de ser importante sob o aspecto do comportamento estrutural tem também implicações estéticas.

Para o assentamento das peças cerâmicas, quando as estruturas não eram armadas, eram adotadas espessura de juntas de aproximadamente 1 cm. Para estruturas armadas, tanto para as superfícies verticais como para as abóbadas de cobertura, a espessura adotada por Dieste variava entre 2 e 2,5 cm, dependendo do diâmetro da ferragem, de modo a permitir que a armadura fosse totalmente envolvida pela argamassa. No caso de uma mesma estrutura armada e não armada a espessura adotada para as juntas era constante, de aproximadamente 2 cm, para efeito de uniformidade visual.

A Figura 5.54 mostra detalhe de algumas superfícies nas quais observa-se a regularidade dimensional das juntas para paredes planas e regradas e para cobertura.



Figura 5.54 – Regularidade das juntas: implicações técnicas e estéticas.

As argamassas para as juntas eram preparadas com cimento e areia na proporção de 1:2,5 ou de 1:3, em volume. Para argamassa de cobrimento empregada como capa

nas abóbadas, o traço de 1:3 de cimento e areia média e a espessura uniforme de 3 cm foram adotados. Durante a execução, esta argamassa era pressionada sobre a alvenaria para melhorar a aderência e a impermeabilidade. O controle da resistência à compressão das argamassas era feito através de ensaios de corpos de prova na obra.

O diâmetro das ferragens dispostas entre as juntas, envolvidas pela argamassa, variava em função do vão, das alturas e das solicitações a serem suportadas. Para as tipologias adotadas por Dieste tais como as abóbadas de curvatura dupla, abóbadas autoportantes e superfícies laminares regradas e em planos foram utilizados aços com tensões de ruptura e de escoamento de aproximadamente 550 MPa e 500 MPa, respectivamente.

Geralmente, os dimensionamentos levavam à adoção de armaduras verticais e horizontais com diâmetro mínimo de 6 mm, o suficiente para resistir aos esforços construtivos decorrentes de imperfeições na execução, defeitos nos materiais, cargas não previstas na construção, e para minimizar a abertura das fissuras, caso ocorressem. Esta seção foi escolhida por ser o menor diâmetro disponível em aço corrugado, necessário para aumentar a aderência com a argamassa. No caso de maiores solicitações tais como empuxo de grãos, cargas concentradas como correias transportadoras, ventos fortes ou mudanças bruscas de temperatura, necessitava-se de maiores resistências e, conseqüentemente maiores diâmetros para as ferragens, definidos pelo cálculo estrutural. Especificações sobre os métodos de cálculo e detalhamentos do projeto estrutural podem ser encontradas em Sevilla (1996).

Em todas as abóbadas Dieste utilizou malha eletro-soldada de 15 x 15 cm, embutida na argamassa de cobrimento, com fios de diâmetro de 3,8 a 4,2 mm, com resistências de ruptura e de escoamento de aproximadamente 600 MPa e 550 MPa, respectivamente. Durante a execução, era necessária uma verificação para a certificação de que esta malha estivesse totalmente recoberta pela argamassa de cobrimento. Em função das solicitações previstas no cálculo estrutural era necessário, em algumas situações, o aumento da resistência desta malha através de reforço com outras malhas ou barras de aço.

As abóbadas de grandes dimensões longitudinais eram sempre protendidas. Nestes casos, adotava-se a utilização de aços com tensões de ruptura e escoamento aproximadas de 1900 MPa e 1700 MPa, em função do vão, determinadas pelo cálculo. Atualmente estes cabos de protensão apresentam-se em forma de cordoalhas de diâmetro nominal de 12 mm.

Para as abóbadas autoportantes foram desenvolvidos dois sistemas de protensão, um para as vigas dos vales e outro para a parte superior das abóbadas.

A Figura 5.55 mostra um esquema do sistema de protensão desenvolvido para as vigas dos vales de abóbadas autoportantes, em três fases, realizado com macaco hidráulico adaptado por Dieste.

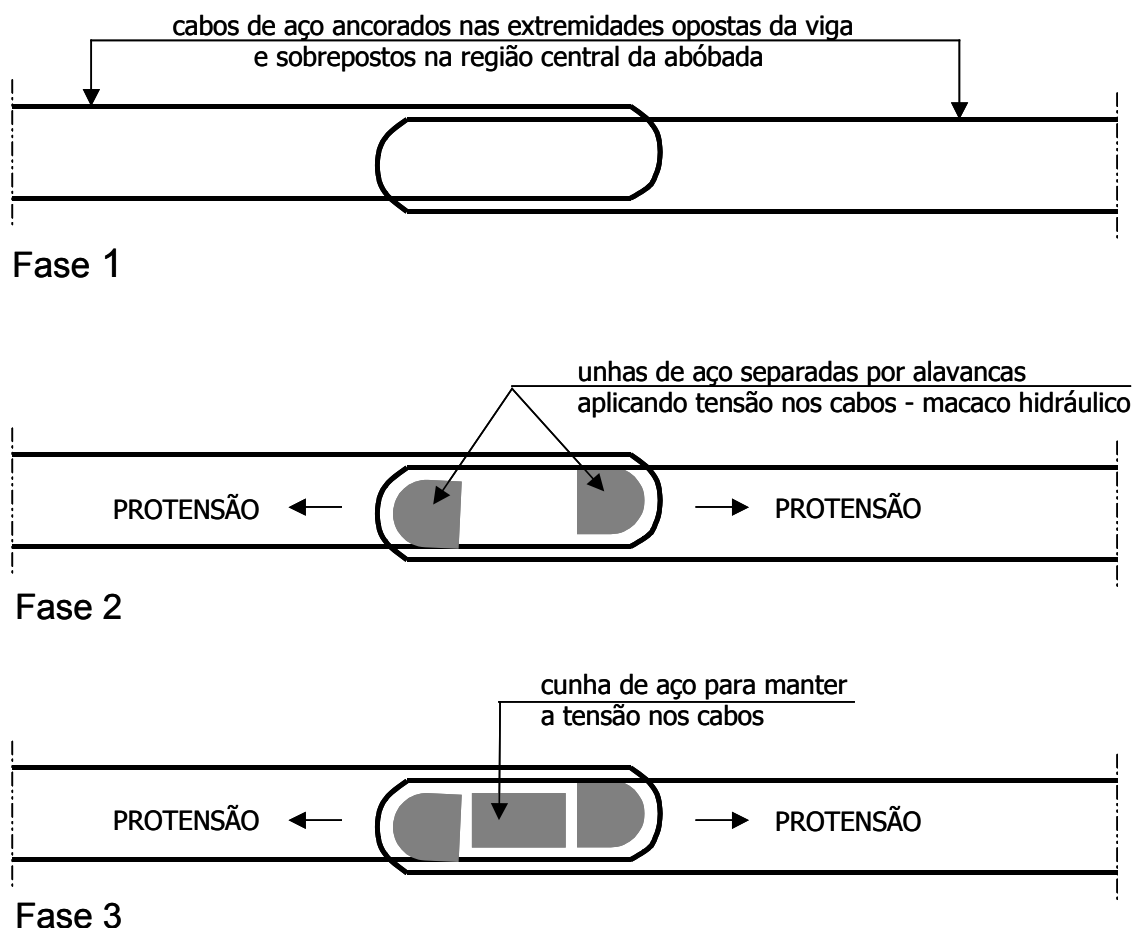


Figura 5.55 – Abóbadas autoportantes: sistema de protensão nas vigas dos vales.

A Figura 5.56 mostra um esquema do sistema de protensão desenvolvido para a parte superior das abóbadas autoportantes (Figuras 5.17 e 5.18), em cinco fases. Sobre este sistema de protensão eram colocadas uma malha eletro-soldada e argamassa de cobrimento, como descrito anteriormente.

Posteriormente à execução de todos os segmentos das abóbadas, uma pintura com várias demãos de tinta branca acrílica, para garantir a estanqueidade e reflexão solar, era aplicada na superfície externa, procedimento adotado para todas as abóbadas, independentemente da tipologia.

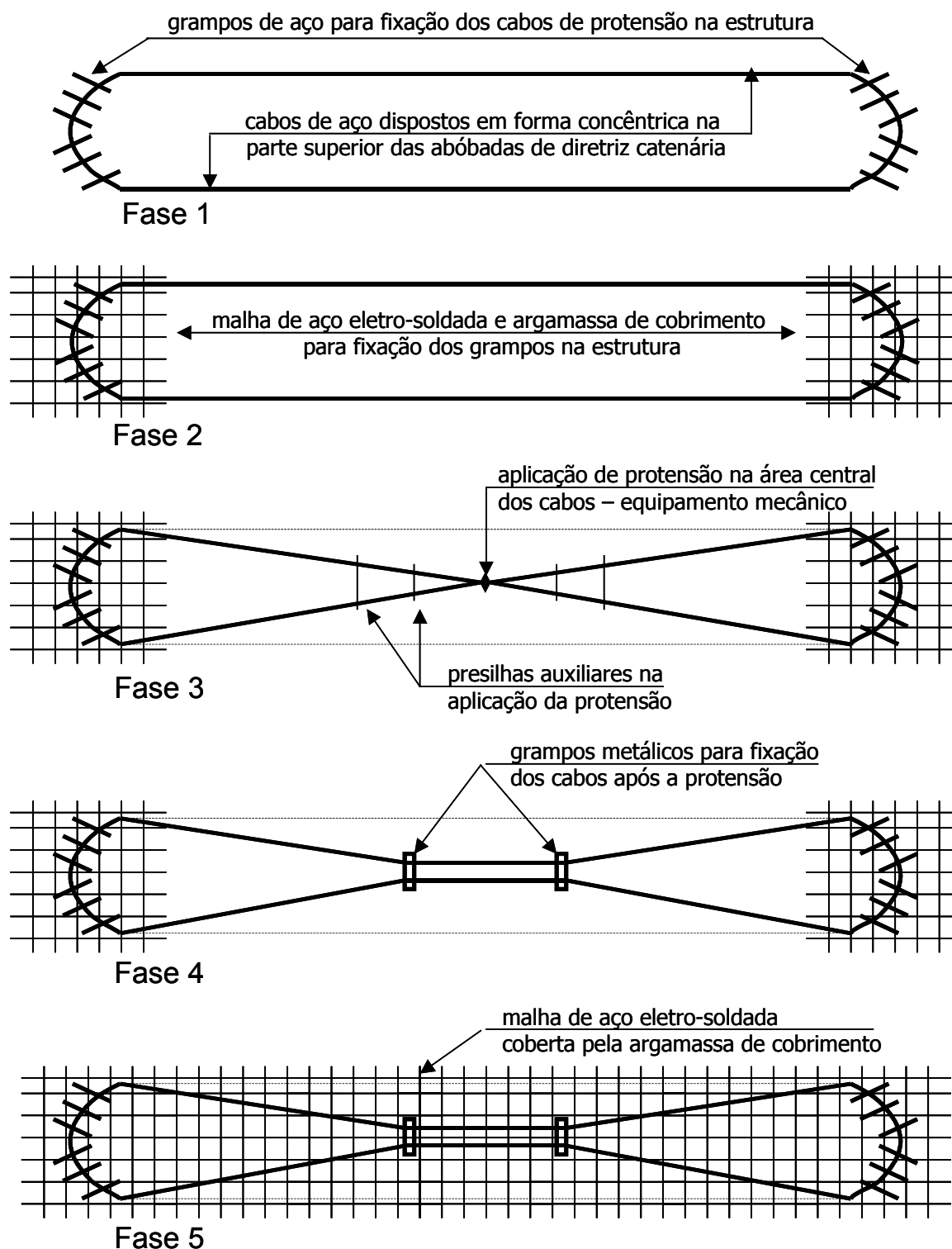


Figura 5.56 – Abóbadas autoportantes: sistema de protensão na parte superior das abóbadas.

Como o material cerâmico, os tipos de aço empregados por Dieste são facilmente encontrados em diversos países, como é o caso do Brasil. Da mesma forma podem ser citados os sistemas de protensão que, atualmente, podem ser mais facilmente executados, principalmente, devido à variedade de ferramentas, equipamentos e cabos adequados para tal, permitindo simplificação de tarefas. Nos últimos anos, a tecnologia de argamassas também se desenvolveu consideravelmente, sobretudo pela disponibilidade de aditivos químicos que aceleram o processo de endurecimento, além de melhorar a resistência.

5.3.3 Moldes modulares, gabaritos e prazos de desforma

Dieste desenvolveu diferentes moldes e/ou gabaritos adequados a cada uma das tipologias que empregou. As características comuns dos moldes são a modularidade e a possibilidade de movimentação vertical e horizontal, através de mecanismos especiais.

A modularidade permitiu a reutilização do molde e conseqüente diluição de seu custo para a execução de vários segmentos, no caso das abóbadas autoportantes, e de vários arcos, no caso das abóbadas de curvatura dupla.

A movimentação dos moldes, principalmente na direção vertical, possibilitou a exploração formal das curvas catenárias das abóbadas.

A movimentação vertical era realizada através de macaco eletromecânico que assegurava a suavidade necessária às operações de montagem e desmontagem. Através de um torno fixado diretamente na roda do molde e na engrenagem, e de um grampo de aço que praticamente eliminava o atrito, o esforço era transmitido à coluna do molde, movimentando-o verticalmente para baixo e para cima. A movimentação horizontal era realizada através rodas e de trilhos.

Um desenho esquemático que exemplifica a montagem do sistema de movimentação vertical e horizontal dos moldes modulares desenvolvido por Dieste é mostrado na Figura 5.57.

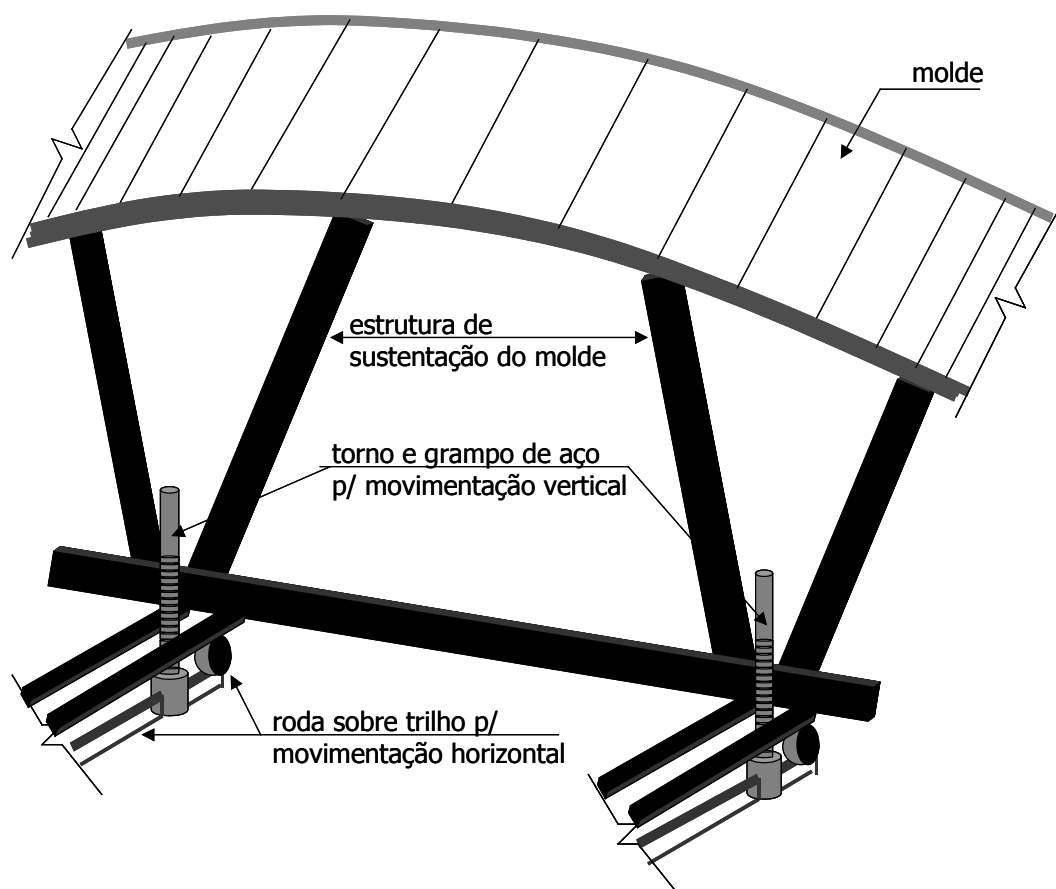


Figura 5.57 – Desenho esquemático de funcionamento do sistema para movimentação horizontal e vertical do molde modular.

A seguir, são detalhadas as especificidades dos moldes modulares em função das tipologias para abóbadas desenvolvidas por Dieste.

As tipologias em abóbadas autoportantes (Figura 5.12) permitiam a construção de moldes modulares de pequena extensão, que eram projetados e montados em função da faixa de cobertura a ser executada e da diretriz catenária da abóbada. Como os vãos de maiores dimensões eram os longitudinais, estes moldes além de móveis, eram leves e, conseqüentemente, de baixo custo e de fácil manejo, tornando-se opções econômicas.

Geralmente constituíam-se de estruturas de madeira, sendo o molde propriamente dito formado por malha quadricular que orientava a colocação das peças cerâmicas e a espessura das juntas, através de espaçadores de, geralmente, 2 cm. Tipicamente, a colocação das peças cerâmicas com utilização de gabaritos para preparação e controle dimensional de juntas nas abóbadas pode ser vista na Figura 5.58.



Figura 5.58 – Preparação das juntas: molde modular com espaçadores e emprego de gabaritos.

Para as abóbadas de curvatura dupla, os moldes eram constituídos, geralmente, de infraestrutura metálica e superestrutura de madeira. Em alguns casos, a infraestrutura era constituída de três segmentos, sendo o central maior, e os dois laterais menores e dobráveis. Estes segmentos laterais, chamados aletas, eram dobráveis para permitir a movimentação horizontal do molde ao longo das paredes de curvatura variável. Geralmente, os moldes não precisavam ser dobráveis, podendo ser abaixados o suficiente para não causar interferência nas paredes onduladas e/ou no arco recém-construído. Desta maneira, tornava-se mais simples sua execução e montagem.

A movimentação vertical do molde era essencial para a sua montagem e remontagem, uma vez que os arcos apresentavam variação de flechas na seção longitudinal. Os mecanismos de movimentação vertical e horizontal eram similares para todas as tipologias de abóbadas, conforme apresentado na Figura 5.57.

A Figura 5.59 mostra o funcionamento da infraestrutura de um molde dobrável para a execução de arco de abóbada de curvatura dupla, na Igreja de Atlantida. Neste caso, as aletas laterais da infraestrutura do molde foram dobradas após a execução do primeiro arco para realizar as operações de movimentação vertical e horizontal.

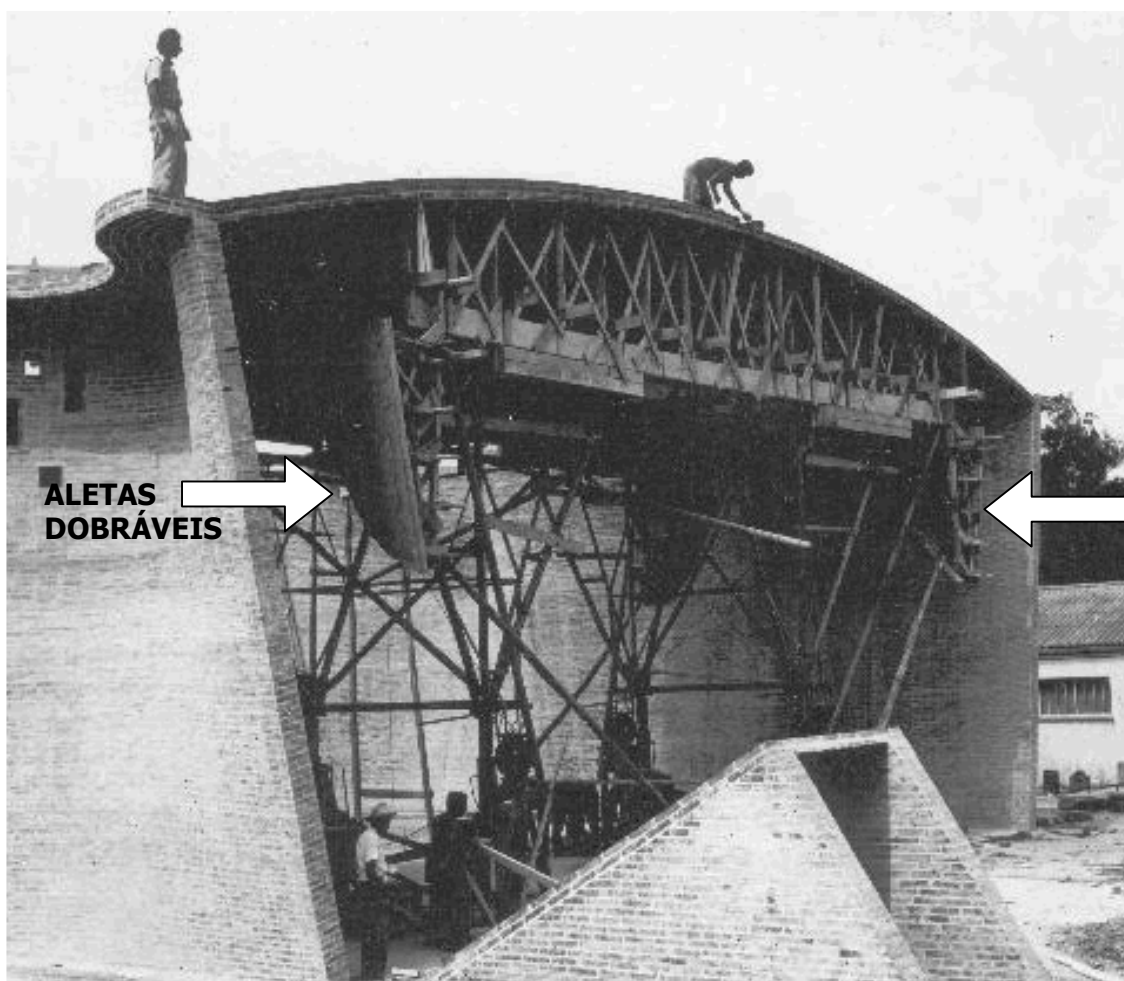


Figura 5.59 – Execução de arco de abóbada de curvatura dupla: utilização de moldes modulares com infraestrutura dobrável.

Os moldes para as abóbadas de curvatura dupla eram chamados sistemas de costela e demandavam um detalhamento de projeto (Figura 5.7), além de mão de obra especializada para sua confecção e montagem. No entanto, o emprego deste tipo de molde modular permitiu grande número de reutilização do mesmo, em função do número de arcos da abóbada, fazendo com que seu custo fosse diluído no custo total da obra.

Os prazos para desforma dependiam, principalmente, da resistência da argamassa das juntas e da capa de cobrimento, mais do que dos vãos das abóbadas. Os prazos para alcançar as resistências especificadas em projeto são relacionados com a temperatura e a umidade ambiente e o uso de aditivos químicos. Para determinação destes prazos eram realizados ensaios com corpos de prova de argamassa na obra. Quando a argamassa alcançava a resistência de 5 MPa, a desforma podia ser realizada. Estes prazos variavam, geralmente, entre 12 horas no verão e 36 horas no

inverno. Quando necessários prazos menores, outras medidas como aquecimento da água de amassamento da argamassa, proteção térmica da abóbada com lonas suspensas e aquecimento eram adotadas.

5.3.4 Mão de obra e equipes de trabalho

Os operários que construíram as estruturas de cerâmica armada para a *Dieste y Montañez* eram formados nas próprias obras, a partir de treinamentos de curta duração proporcionados pelos engenheiros, mestres de obra e operários experientes.

Para a execução de obras em outros locais como, por exemplo, as do Brasil, eram enviados alguns mestres especializados, carpinteiros e armadores que conheciam bem a técnica construtiva. Geralmente dois ou três trabalhadores especializados eram suficientes para transmitir a técnica, treinar e supervisionar os trabalhos de execução. Quando possível, os equipamentos projetados por Dieste para a execução da protensão dos cabos de aço nas abóbadas de cerâmica eram também enviados. Em outras situações, os projetos eram adaptados para que os equipamentos fossem produzidos no local da obra.

Alguns operários foram muito importantes na *Dieste y Montañez*. Vittorio Vergalito, italiano, trabalhou para a empresa no período de 1957 a 1996 e, como Vito Pacheco, foi um dos mestres preferidos de Dieste. Vittorio teve participação importante em muitas das grandes obras de Dieste, dentre elas as igrejas de Atlantida e de Durazno, sendo um profissional que interpretava as idéias de Dieste como nenhum outro mestre. O pedreiro especialista Eleutério Vera foi um dos melhores pedreiros da empresa e Dieste confiava muito em sua habilidade construtiva (LARRAMBEBERE, 2003).

Dentre as operações de produção, a tarefa que demandava maior experiência e capacidade técnica era a execução do molde móvel. Em geral, era realizada por carpinteiros, serralheiros e soldadores. Estes dois últimos construíam a infraestrutura metálica do molde no local da obra, como as roldanas sobre trilhos, as colunas, as vigas e os cabos de sustentação. Os carpinteiros executavam a superestrutura de madeira composta pelas costelas, escoramento e forro superior de tábuas de madeira apoiadas sobre a infraestrutura metálica. A todos estes operários era imprescindível a capacidade de leitura e interpretação dos desenhos que compõem os projetos do molde.

A disposição das peças cerâmicas sobre o molde era executada por pedreiros treinados, assim como a argamassa de cobrimento. Os seguintes cuidados para a execução desta tarefa podem ser relacionados:

- a) Molhar as peças cerâmicas antes da execução da alvenaria;
- b) Manter a espessura da capa de 3 cm em toda a extensão da superfície da abóbada ;
- c) Verificar que a malha de aço que recobre as peças cerâmicas esteja recoberta;
- d) Pressionar a argamassa sobre a alvenaria para melhorar a aderência e a impermeabilidade.

A tarefa de colocação da armadura nas juntas entre as peças cerâmicas e, sobre elas, a de colocação de malha eletro-soldada antes da argamassa de cobrimento era realizada por um serralheiro experiente. Para a colocação de ancoragem e cabos para a protensão, que demandavam maior perícia, era destinado um profissional treinado que se encarregava de tal tarefa.

Da mesma maneira como Dieste projetou e fabricou equipamentos para atender a uma tecnologia de protensão especialmente desenvolvida para estruturas laminares, ele treinou e capacitou uma equipe de operários que se especializou nesta tecnologia e transmitiu suas habilidades para gerações seguintes.

5.4 Considerações finais

As tipologias construtivas desenvolvidas por Dieste são resultado de 50 anos de trabalho, pautados em profundos conhecimentos das ciências básicas aliados à intuição, à estética, à visão espacial, à racionalidade e à economia. O princípio básico destas tipologias encontra-se na resistência obtida pelas formas geométricas construídas com material cerâmico empregado com comportamento estrutural. Dieste acreditava ter desenvolvido uma família de tipos construtivos com técnicas construtivas apropriadas que era apenas o início de um novo caminho de grande fertilidade técnica, industrial e também arquitetônica (LARRAMBEBERE, 2001).

No próximo Capítulo deste trabalho são apresentados os parâmetros para os processos de projeto arquitetônico e de produção, com ênfase na tecnologia construtiva de Eladio Dieste. São discutidas as contribuições desta para a Arquitetura e a Engenharia bem como uma análise crítica para sua implantação no Brasil.

Sistematização da tecnologia construtiva desenvolvida por Eladio Dieste

Considerações iniciais

Eladio Dieste desenvolveu tipologias que exploram as formas geométricas das superfícies laminares. O objetivo foi, sempre, a obtenção de melhor resultado técnico e compositivo, aproveitando as características físicas e mecânicas dos materiais. Por outro lado, observam-se em seus projetos e construções soluções particulares para as demandas específicas tais como obras de igrejas, fábricas, depósitos, silos e torres.

Certamente, a obra de Dieste é única. Se isto por um lado desperta grande interesse, por outro, agrega diferentes variáveis e condicionantes que sintetizam princípios e idéias da Arquitetura e da Engenharia, tornando difícil a disseminação e apropriação deste conhecimento. A caracterização da tecnologia construtiva por ele desenvolvida e empregada, compreendendo tanto o projeto arquitetônico quanto o processo de execução, pode contribuir para eliminar tal limitação.

Este capítulo apresenta, de forma sistematizada, os parâmetros do projeto arquitetônico e de produção empregados por Dieste, as contribuições trazidas por sua obra e uma discussão crítica da utilização desta tecnologia construtiva.

6.1 Parâmetros do processo de projeto arquitetônico

A arquitetura nas obras de Dieste é marcante e surge como decorrência das definições estruturais. A aplicação apropriada da engenharia, através dos conceitos físicos e matemáticos, do uso dos materiais disponíveis e da releitura das técnicas tradicionais definem uma filosofia construtiva e uma arquitetura expressiva.

O trabalho de Dieste é influenciado pelas características pessoais e de formação profissional, além das influências sociais e culturais. A sistematização do processo de projeto arquitetônico adotado por ele, a partir da análise das tipologias desenvolvidas e empregadas, não é tarefa fácil, pela diversidade de variáveis por ele consideradas.

Foram tomados como referência os métodos de composição descritos neste trabalho para identificar os eixos delineadores do processo de projeto arquitetônico adotado por Dieste. Este era, em boa medida, similar aos adotados por arquitetos, acrescido de forte preocupação com o comportamento estrutural e com o processo de produção, bem como com as particularidades requeridas pela alvenaria estrutural, consequência de sua formação em Engenharia Civil.

Dieste empregou conceitos de racionalização e compatibilização de projetos arquitetônico e estrutural e de construtibilidade, considerando a estreita relação entre eles para a qualidade do produto final, assim enumerados:

- a) Definição das características físicas e mecânicas do material a ser utilizado, optando pela utilização de tijolos maciços e/ou blocos cerâmicos produzidos no Uruguai. Dieste sempre considerava em seus projetos a aparência, as dimensões e a resistência mecânica para a adequação à tipologia da obra, bem como as características térmicas e acústicas do material cerâmico;
- b) Redução do número de elementos, componentes ou peças, empregando para cada o mesmo tipo de tijolo ou bloco para desempenhar as mesmas funções quais sejam estruturais, de divisão de espaço, isolamento térmico e acústico, dentre outras, considerando a facilidade de manuseio dos materiais e de treinamento da mão de obra;
- c) Utilização de malha para modulação e coordenação dimensional dos elementos construtivos em função das características dimensionais dos tijolos ou blocos, visando a simplicidade de execução, aumento do ritmo de construção, controle de espessura das juntas e, conseqüentemente, redução de custos;
- d) Adoção de princípios reguladores e normas estéticas, tais como sistemas de proporção geométrica para a geração da forma em planta, cortes e/ou elevações, buscando melhorar as relações estéticas do conjunto arquitetônico;
- e) Integração do espaço exterior com o interior através de elementos arquitetônicos de transição e de comunicação visual para proporcionar ao usuário melhor conforto e bem estar;
- f) Exploração da potencialidade da forma geométrica dos elementos resistentes, como o aumento da resistência final através do aumento da inércia e não do aumento de consumo dos materiais de construção;

- g) Adoção de conceitos de simetria e orientação na distribuição das paredes estruturais para assegurar a distribuição dos carregamentos obtendo, conseqüentemente, melhores soluções técnicas;
- h) Exploração da iluminação natural para valorização estética dos elementos construtivos, ambientação e melhores condições de utilização do espaço, considerando orientação e incidência de luz em pontos estratégicos;
- i) Aplicação das normas e requerimentos para projetos em alvenaria estrutural com detalhamento para execução dos elementos construtivos tais como definição e especificação de juntas e armaduras, de esquadrias e componentes especiais e de instalações.

6.2 Parâmetros do processo de produção

Os princípios básicos construtivos adotados para as tipologias desenvolvidas por Dieste, sejam as abóbadas ou as superfícies regradas, podem ser assim relacionados:

- a) Utilização de tijolos e/ou blocos de pequena dimensão para melhor adaptação ao molde, no caso de abóbadas, ou às formas curvas orientadas por guias, no caso das superfícies regradas, com resistência adequada às especificações do cálculo estrutural;
- b) Aumento da resistência das lâminas e da rigidez (à flambagem) através do aumento do momento de inércia pela ondulação da forma espacial, com baixo consumo de material e conseqüente pequeno aumento de peso por metro quadrado;
- c) Utilização de armadura longitudinal e transversal disposta nas juntas entre as peças cerâmicas. Tanto as superfícies regradas como as abóbadas são estruturas delgadas, apresentando comportamento de estruturas em casca. Em todas as seções aparecem tensões no plano da casca, cuja absorção se dá pela ação combinada da alvenaria e das armaduras dispostas nas direções longitudinais e transversais. As particularidades das tipologias foram assim resolvidas:
 - Para as abóbadas gaussianas ou de curvatura dupla, Dieste adotou a forma catenária para as seções transversais, de modo que essas produzissem esforços de compressão no plano suficientes para equilibrar os esforços devido à flexão. Este procedimento permitiu a desforma após algumas horas

da construção uma vez que a argamassa das juntas era submetida somente à compressão e, sua resistência mínima era obtida em curto prazo;

- Para as abóbadas autoportantes, Dieste adotou a laje de borda para receber o empuxo produzido pelo módulo extremo dos arcos e transmiti-lo à infraestrutura;
- Para as superfícies laminares regradadas, Dieste utilizou as paredes com função estrutural para resistir aos esforços nas diversas direções tais como força horizontal de um arco de abóbada, força vertical ou empuxo;

- d) Utilização de molde modular móvel para a construção de abóbadas e de gabaritos e fios-guia para as superfícies regradadas. Estes moldes modulares podem ser executados em madeira ou em material metálico, sendo recomendado o uso de desmoldantes, principalmente quando utilizados espaçadores metálicos.

6.3 Contribuições de Eladio Dieste

Eladio Dieste criou uma nova linguagem e uma nova tecnologia construtiva para utilização de tijolos cerâmicos e não uma adaptação da tecnologia utilizada para a construção de estruturas de concreto. Suas obras expressam as múltiplas relações entre forma arquitetônica e estrutural e conhecimento construtivo. As contribuições de seu trabalho tanto para a Arquitetura quanto para a Engenharia podem ser assim enumeradas:

1. As obras de Dieste distinguem-se pela capacidade da adequação da arquitetura ao sistema estrutural adotado, confirmando que arquitetura, forma e expressão são inseparáveis de economia, construção e eficiência estrutural;
2. A inovação em suas obras encontra-se fortemente vinculada à exploração de tipologias e ao desenvolvimento de uma tecnologia construtiva, além de se basear na aplicação de princípios matemáticos e físicos, teorias de cálculo e experiência profissional. As tipologias em abóbadas gaussianas ou de curvatura dupla, abóbadas autoportantes, superfícies regradadas e em planos expressam a inovação da interação entre a arquitetura e a engenharia através da exploração das formas e do comportamento estrutural;
3. As características da arquitetura de qualidade se aplicam na abordagem da obra de Dieste. Princípios teóricos como utilização de técnica construtiva local, materiais disponíveis, coordenação modular e dimensional, soluções diferenciadas para

mesmos componentes em projetos distintos, valorização estética e coordenação de projetos eram geralmente adotados buscando soluções apropriadas;

4. As obras de Dieste evidenciam a importância de consciência e respeito à realidade histórica, cultural e social na proposição de objetos arquitetônicos que atendam a demanda da sociedade. Seu trabalho era marcado pela busca, pela curiosidade e pela inquietude em dar respostas de qualidade mesmo com os limitados recursos disponíveis. Demonstraram sensibilidade em relação aos locais em que trabalhava e à cultura de seu povo, preservando os elementos relevantes e agregando valor pela inclusão de componentes modernos. Valorizaram a natureza e a paisagem, a solidariedade ao trabalhador, o ofício de construir e a criatividade frente à rotina. Estes motivos são o grande diferencial de seu trabalho, expresso através de suas formas inovadoras e revolucionárias;
5. A nova tecnologia construtiva desenvolvida a partir da tradição de se construir com tijolos cerâmicos no Uruguai apropriou-se de técnicas consagradas através de experiência passada e da recriação dos processos construtivos, permitindo combinações técnicas e formais, colocando a indústria, a tecnologia e a inovação a serviço do homem;
6. A filosofia construtiva de Dieste ficou caracterizada pelo emprego da cerâmica armada aliada à utilização de moldes modulares móveis. A criatividade, o conhecimento e a ousadia no emprego do material cerâmico resultou em efeitos plásticos, estéticos, espaciais e formais de extrema força, intensidade e expressão. Foram exploradas as características deste material como alta resistência, leveza estrutural, durabilidade e manutenção, comportamentos térmico e acústico e menor custo. A aplicação da cerâmica adquiriu uma intensidade formal que destaca suas obras, conferindo-lhes a possibilidade de diferenciação e de permanência se comparadas com outras construções projetadas em função de modismos e estilos de época. A utilização de moldes modulares com capacidade para movimentar-se horizontalmente e verticalmente permitiu a execução das abóbadas de maneira seqüencial e repetitiva, mantendo um ritmo contínuo de execução com prazos relativamente curtos de desforma, mesmo para estruturas de grandes dimensões;
7. A tecnologia desenvolvida para abóbadas em cerâmica apropria-se da geometria, da contribuição da armadura e da protensão. A premissa básica é de que o conjunto bloco-argamassa-aço se comporta como uma unidade estruturalmente viável. Fatores como economia de madeira, de escoras e de mão de obra, menor

consumo de armação, menor número de operações de execução e, conseqüentemente, menores custos por metro quadrado construído tornaram as coberturas em abóbadas cerâmicas competitivas, se comparadas às coberturas tradicionais de concreto ou metálicas;

8. Dieste introduziu a diretriz catenária com o objetivo de simplificar a transferência dos esforços das abóbadas aos pilares e às lajes planas situadas nos extremos da série de abóbadas, para resistir à componente horizontal dos empuxos, durante a construção e aos esforços para fixação da aresta geratriz extrema, após a construção;
9. Dieste adotou a dupla curvatura nas abóbadas para obter maiores vãos sem aumento significativo de material. A ondulação longitudinal aumentou a rigidez da membrana com pequeno aumento de comprimento e peso, sem criar descontinuidade na seção transversal. A ondulação transversal criada pelas diferentes flechas proporcionou a rigidez requerida pelo cálculo, particularmente no momento da desforma. Foi introduzida a colocação de armaduras longitudinais entre os blocos para se evitar fissuras transversais entre os diferentes arcos, criando uma continuidade longitudinal da membrana;
10. A exploração formal das superfícies regradas, através do aumento da resistência nos locais de maior solicitação, utilizando a inércia e não o aumento da resistência dos materiais ou de seu volume caracteriza uma contribuição para concepções de obras no sistema construtivo em alvenaria estrutural. Além das qualidades estéticas, o processo construtivo deste tipo de estrutura possibilitou a execução de superfícies com o emprego de gabaritos e de fios-guia que dispensam a utilização de moldes;
11. O desenvolvimento de estruturas em planos explorou o comportamento estrutural das cascas sem a utilização de vigas e pilares como elementos de apoio. Embora sejam estruturas com comportamento estrutural desejável esta tipologia não possibilita a reutilização dos moldes, não apresentando as vantagens construtivas das superfícies regradas, torres, lâminas e abóbadas;
12. A necessidade para desenvolver os processos construtivos levou Dieste a projetar, adaptar e construir os equipamentos não somente para sistemas motorizados dos moldes móveis como para estacas de fundação e sistemas de protensão.

6.4 Discussão crítica da tecnologia construtiva de Eladio Dieste

Observa-se, pela descrição dos materiais, das ferramentas e dos equipamentos, da mão de obra e da técnica empregada por Dieste, que esta tecnologia tem potencial para ser adaptada e implantada no Brasil, para a construção de obras com caráter semelhante às por ele projetadas. Complementa-se a este fato que requisitos como: coordenação de projetos, leitura e interpretação de projetos e de detalhamento, habilidade construtiva desenvolvida através de treinamento e controle da qualidade pela supervisão dos trabalhos de execução fazem parte da prática construtiva aqui adotada, principalmente para construções em alvenaria estrutural.

Para que haja apropriação desta tecnologia, é necessária a sua adaptação às condições do contexto onde se pretende implantá-la. Deve englobar desde o modo de utilização da tecnologia à organização do trabalho, incluindo a manutenção, o controle da qualidade, a formação de pessoal e a condição de vida dos trabalhadores no trabalho e fora dele. Desta maneira, a apropriação desta tecnologia, particularmente no Brasil, deve considerar não somente o uso e adaptação de técnicas e equipamentos, mas também uma mudança na prática do processo de projeto arquitetônico e da construção.

Dentre as facilidades para a utilização da tecnologia desenvolvida por Dieste, no Brasil, podem ser citados o desenvolvimento e o conhecimento de técnicas de projetos e de execução, a abundância de material cerâmico de qualidade, técnicas e equipamentos de protensão desenvolvidos, facilidade e rapidez de treinamento da mão de obra e a não exigência de grandes investimentos iniciais.

No entanto, a apropriação desta tecnologia requer uma mudança cultural no que se refere à concepção de projetos, principalmente arquitetônicos e à prática construtiva, envolvendo treinamento de mão de obra e adaptação de equipamentos e ferramentas adequados às diversas tipologias e às formas curvas. Esta última é uma característica marcante da obra de Dieste: uso de tipologias que envolvem a concepção espacial, empregando raciocínio e visão tridimensional.

Diversamente, no Brasil, a formação tradicional de profissionais projetistas das áreas de Arquitetura e Engenharia é embasada, na sua maioria, na concepção de projetos em planos bidimensionais, acarretando, na maior parte das vezes, em construções ortogonais e planas. Contudo, esta prática vem sendo modificada, inclusive pela utilização de *softwares* no processo de projetos, que permitem a criação e a visualização instantânea das formas tridimensionais. Da mesma maneira, a utilização de métodos numéricos permite a simulação do comportamento estrutural com maior facilidade e fidelidade.

A complexidade das tipologias empregadas e exploradas por Dieste pode levar-nos a crer que tais estruturas seriam de difícil execução em outra época ou em países como o Brasil, que apresenta materiais e processos construtivos e que tal tecnologia não poderia ser apropriada e disseminada para uso corrente.

Uma análise mais cuidadosa, no entanto, permite notar que há mais similaridades que diferenças nesta comparação. Algumas características observadas em, praticamente, todas as construções de Dieste são aqui discutidas criticamente:

1. Uso de material local tais como tijolos e/ou blocos cerâmicos facilmente encontráveis, ferragem e armadura disponíveis na época e na região, buscando a associação entre os limites e o potencial destes materiais.

Esta maneira de escolha dos materiais, em um país como o Brasil, que apresenta grandes dimensões territoriais, ao mesmo tempo em que concentra seu parque industrial em áreas bem definidas, é fundamental para a viabilização de construções nas diversas regiões. Verifica-se, aqui que tal não pode ser empecilho à disseminação de projetos inovadores similares. Acresce-se o fato de que os materiais, geralmente empregados por Dieste, como apresentado anteriormente, não requerem alta resistência à compressão ou geometrias diferentes das aqui produzidas. Esta preocupação tem sido cada vez maior pela necessidade de desenvolvimento sustentável no qual o uso de materiais locais leva, geralmente, a um menor consumo de energia;

2. Aproveitamento da mão de obra local e resgate das técnicas construtivas tradicionais em cerâmica, com características de repetitividade dos procedimentos executivos.

Nos últimos anos, no Brasil, há uma preocupação crescente com a exploração do potencial da mão de obra disponível localmente, com preparação para a execução das tarefas por meio de capacitação, treinamento e incentivos. No que diz respeito à produção, a repetitividade que leva a uma maior produtividade passou a ser preocupação ainda na fase de projetos, como decorrência, por exemplo, do efeito-aprendizagem. Este fato, da mesma maneira que a escolha dos materiais, não constitui em aspecto impeditivo à construção de obras como as produzidas por Dieste;

3. Reincidência no uso de tipologias formais, explorando maiores vãos e diferentes combinações de formas, mantendo sempre constante uma preocupação estética.

Um dos aspectos freqüentemente discutidos quando se propõe a execução de obras em alvenaria estrutural é a limitação dos vãos. O uso de grandes vãos livres e balanços foi explorado por Dieste ao estabelecer um novo conceito de processo de projeto arquitetônico no qual o comportamento estrutural era elemento importante, senão definidor dos aspectos estéticos e de exploração formal. Observe-se que este procedimento requer o conhecimento aprofundado não só de princípios de arquitetura e estética, mas também de conceitos de estabilidade das construções, de comportamento estrutural global e de resistência dos materiais. No entanto, esta característica não é o foco na formação de profissionais projetistas, principalmente, pela dissociação existente na formação de engenheiros e arquitetos. Talvez seja esta a maior dificuldade na apropriação da inovação observada na obra de Dieste. Para que esta dificuldade seja superada é necessária a compreensão e a sistematização dos processos de projeto e de construção de Dieste;

4. Adequação e adaptação de equipamentos com características de baixo custo, facilidade de manuseio e transporte e possibilidade de reutilização.

Esta questão está diretamente associada aos requerimentos de projeto e ao processo de produção. Nos últimos anos, a tecnologia de equipamentos desenvolveu-se consideravelmente. No caso do Brasil, para obras de grande porte, a ICC tem a experiência incorporada ao longo das últimas décadas, quando predominou no país a execução de grandes obras, contribuindo para que a engenharia adquirisse *know-how* suficiente para a execução de obras complexas e de grande vulto. Ressalta-se que, os equipamentos desenvolvidos por Dieste não apresentam dificuldades na sua operação e/ou fabricação, seja para obras de pequeno porte ou para grandes obras;

5. Moldes móveis especialmente projetados e construídos para as abóbadas em função de tipologias e de variações dimensionais de vãos e flechas e gabaritos que reproduzem as diretrizes das superfícies regradadas.

O projeto e a execução de tais moldes constituem inovação e requerem mão de obra especializada para construção e montagem. Mas, uma vez fabricados, as necessidades de adaptação seriam, basicamente, adequação aos vãos, aos trilhos e à operação dos mecanismos de movimentação, o que não apresenta impedimento à sua utilização em épocas e locais diferentes daqueles onde foram originariamente empregados.

Conclusões e recomendações

A tecnologia desenvolvida por Eladio Dieste proporcionou a construção de obras que são representativas na história da Arquitetura e da Engenharia por sua expressividade formal e apropriação do espaço, sua beleza e leveza das soluções compositivas. A inovação da técnica construtiva, o emprego de materiais existentes e o aproveitamento da mão de obra disponível permitiram a execução de muitos metros quadrados em períodos mais curtos e a custos mais baixos, resultando em construções econômicas e competitivas se comparadas àquelas que empregam processos tradicionais.

A análise da obra de Dieste permitiu identificar princípios que contribuem para o desenvolvimento dos processos em alvenaria estrutural. A tecnologia por ele desenvolvida atende aos princípios deste sistema construtivo no que se refere à economia, à racionalização e à utilização e exploração do potencial do material cerâmico. Proporciona, ainda, uma arquitetura apropriada que contribui para a melhoria da qualidade do ambiente construído, possibilitando melhores condições de uso.

7.1 Conclusões

As principais conclusões acerca do trabalho aqui apresentado podem ser assim relacionadas:

1. A obra de Eladio Dieste é pautada na interação entre a Arquitetura e a Engenharia, pela inovação e exploração da capacidade arquitetônica na adequação das soluções estruturais, tornando possível formas materiais que servem ao ser físico e espiritual do homem. Apresenta, ainda, excelente resultado técnico, estético e econômico para sistemas em alvenaria estrutural, além de oferecer soluções adequadas e de qualidade à demanda da sociedade, necessidades dos tempos atuais. Estes motivos são apontados como um grande diferencial do seu trabalho, expresso através de formas inovadoras e revolucionárias, e que vem sendo reconhecido em diversos países;

7 – Conclusões

2. Os projetos e construções de Dieste apresentam-se como inovação tecnológica com características potenciais de racionalização considerando produto, processo e método. Contribuíram para a criação de uma nova linguagem arquitetônica e construtiva com caráter social, de valorização cultural e de racionalização de custos, aliada aos valores compositivos e espaciais.
3. A possibilidade de desenvolvimento de tipologias associando-lhe tecnologia construtiva inovadora estão vinculadas ao fato de Dieste ter exercido sua carreira como construtor. Este fato possibilitou validar a teoria, a economia, a eficácia e a potencialidade de suas concepções audaciosas, exercitando soluções espaciais e explorando a composição das formas.
4. A apropriação da tecnologia construtiva desenvolvida por Dieste, no Brasil, se justifica pelas possibilidades de adaptação ao contexto do país e da época, considerando o estágio atual de desenvolvimento tecnológico e a possibilidade de industrialização e modernização da Indústria da Construção Civil.

7.2 Recomendações

Trabalhos futuros poderão contribuir para a apropriação e adaptação da tecnologia construtiva desenvolvida por Dieste, através da industrialização e da utilização desta tecnologia de forma modernizada. Para tal poderiam ser abordados os seguintes temas:

- a) Desenvolvimento de painéis pré-fabricados em alvenaria com utilização de processos análogos aos desenvolvidos por Dieste, visando a proposição de sistemas construtivos industrializados;
- b) Desenvolvimento de sistemas de formas modulares para utilização em sistemas construtivos em Alvenaria Estrutural que contribuam para a racionalização de processos, maior rapidez de execução, redução de custos, execução de estruturas leves e o emprego de materiais que demandem baixo consumo de energia.

Referências Bibliográficas

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. *Curso Básico de Alvenaria Estrutural em blocos de concreto*. CD, 2003.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7171 - Bloco Cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, nov. 1992 a.

_____. NBR 8042 - Bloco Cerâmico para alvenaria – Formas e dimensões. Rio de Janeiro, nov. 1992 b.

ABRAMS, D. P. The return of masonry as a structural material. University of Illinois at Urbana – Champaign, Urbana, IL, USA. In: WORLDWIDE ADVANCES IN STRUCTURAL CONCRETE AND MASONRY. *Proceedings...* CCMS of the ASCE Symposium in Conjunction with Structures Congress XIV, Chicago, IL, USA, ASCE, New York, NY, USA. p.1-12.1996.

ADEL-ARGILÉS, J. M. Nineteenth century brick architecture: rationality and modernity. In: 10TH INTERNATIONAL BRICK AND BLOCK MASONRY CONFERENCE. *Proceedings...* Canada, 1994.

ARAÚJO, H. N. *Intervenção em obra para implantação do processo construtivo em alvenaria estrutural: um estudo de caso*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

ARCHINFORM, 1994. Disponível em:
<<http://hometown.aol.com/ennedykay/Rotunda.html>>. Acesso em: 26 ago. 2003.

ARCHITECTURE OF FRANK LLOYD WRIGHT, 1996. Disponível em:
<<http://www.wam.umd.edu/~stwright/FLWr/fallingwater.html>>. Acesso em: 25 ago. 2003.

(ART MUSEUM OF THE AMERICAS, 1976. Disponível em:
<http://www.museum.oas.org/permanent/constructivism/torres_garcia/bio.html>. Acesso em: 15 dez. 2003.

BAKER, G. H. *Le Corbusier: uma análise da forma*. / Geoffrey H. Baker; [tradução Alvamar Helena Lamparelli]. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

BOTTA, M. Ciclo de Debates no Museu da Casa Brasileira. São Paulo, maio 1996 *apud* NOBRE, A. L. *Mario Botta: Território sem fronteiras*. In: ARQUITETURA E URBANISMO. São Paulo: Editora Pini, ano 10, ago./set., 1994.

BRANDÃO, C. A. L. *A formação do homem moderno vista através da arquitetura*. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2. ed., 1999.

_____. *Escola Guignard*. Belo Horizonte, 1993. Disponível em: <<http://www.gustavopenna.com.br/projetos/guignard/esquerda.htm>>. Acesso em: 06 ago. 2003.

CAPOZUCCA, R. Analysis of block masonry panels built with different jointing techniques subjected to compression and shear. In: VII INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES. *Proceedings...* Brasil, Belo Horizonte, 2002.

CARVALHO, M. C. R. *Avaliação do uso de cursos como mecanismo de transferência de tecnologia em alvenaria estrutural*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

_____; SANTOS, F. A.; ROMAN, H. R. Architectural and structural design requirements for constructibility in structural masonry. In: 9TH CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM. *Electronic Proceedings...* Canada, Fredericton, 2001.

_____; SANTOS, F. A.; ROMAN, H. R. Structural masonry: the relationship between architectural design and structural aspects. In: XXXI WORLD CONGRESS OF INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR HOUSING SCIENCE – IAHS. *Electronic Proceedings...* Canada, Montreal, 2003 a.

_____; SANTOS, F. A.; PEDRESCHI, R.; ROMAN, H. R. A framework for facilitating and evaluating architectural design: use of structural masonry In: JOINT SYMPOSIUM OF CIB W55, W65 AND W107. *Proceedings...* Singapore, 2003 b.

CASTRO, Alberto. *A obra de Eladio Dieste*: inédito. Montevideu, Uruguai, 14 nov. 2003. 1 fita cassete (60 min.). Entrevista concedida a Cristina Carvalho.

CENDOTEC, 19xx. Disponível em: <<http://www.cendotec.org.br/alvorada.shtml>>. Acesso em: 26 ago. 2003.

CLARK, R.H.; PAUSE, M. *Precedents in Architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold Staff, 2. ed., 1996.

Referências Bibliográficas

COMAS, C. E. D. *A legitimidade da diferença*. In: ARQUITETURA E URBANISMO. São Paulo: Editora Pini, ano 10, ago./set., 1994.

_____. *A fé move tijolos*: Igreja em Atlântida, Uruguai, 1952-1959, de Eladio Dieste, 2001. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq011/arq011_01.asp>. Acesso em: 15 maio 2003.

_____. *Lúcio Costa e a revolução na arquitetura brasileira 30/39 – De lenda(s) e Le Corbusier*, 2002. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq022/arq022_01.asp>. Acesso em: 16 maio 2003.

CII - CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. *Constructability: a primer*. Publication 3-1, Bureau of Engineering Research, The University of Texas at Austin, Austin, 1986.

CORREA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. A simple model to evaluate the interaction of load bearing walls subjected to vertical loading. In: VII INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES. *Proceedings...* Brasil, Belo Horizonte, 2002.

CURTIN W. G.; SHAW, G.; BECK, J.K.; BRAY, W. A. *Structural masonry designer's manual*. Oxford: BSP Professional Books, 2. ed., 1991.

D'ARAGON, J. From tradition to modernity: earth as a sustainable building material for housing. In: XXXI WORLD CONGRESS OF INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR HOUSING SCIENCE – IAHS. *Electronic Proceedings...* Canada, Montreal, 2003.

DIESTE, E. *Bóveda Nervada de Ladrillos «de Espejo»*. In: Revista de Ingenieria. Montevideo, 1947.

DIESTE, E. *La Estructura Cerámica*. Colección Somosur. Colombia: Escala, 1987.

DIESTE, Eduardo. *A obra de Eladio Dieste*: inédito. Montevideu, Uruguai, 11 nov. 2003 a. 1 fita cassete (60 min.). Entrevista concedida a Cristina Carvalho.

DIESTE, Esteban. *A obra de Eladio Dieste*: inédito. Montevideu, Uruguai, 13 nov. 2003 b. 1 fita cassete (60 min.). Entrevista concedida a Cristina Carvalho.

D & M - DIESTE Y MONTAÑEZ INGENIEROS. *Obras de Arquitectura – Estructuras Especiales*. Catálogo. 1991.

DPA. Departament de Projectes Arquitectònics de la Universitat Politècnica de Catalunya (Org.) Documents de Projectes d'Arquitectura. *Dieste*. v. 15. Catalunya, 1999.

DRYSDALE R. G.; HAMID, A. A.; BAKER, L. R. *Masonry structures: behaviour and design*. New Jersey: Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, 1993.

ELADIO DIESTE: La consciencia de la forma. Entrevista concedida ao arquiteto Mariano Arana em out. 1990. Produção: Mario Jacob. Montevideu: Imagenes, 1997. 1 fita de vídeo (54 min.), VHS, son., color.

ESTRUCTURAS LAMINARES, 19xx. Disponível em: <<http://www.ietcc.csic.es/centenario/Obras1.html>>. Acesso em: 16 maio 2003.

EXPOSICIÓN de la obra del Ingeniero Eladio Dieste. Granada: Junta de Andalucia, nov. de 1996. 1 fita de vídeo (80 min.), VHS, son., color.

FABRICIO, M. M. & MELHADO, S. B. Desenvolvimento histórico do processo de projeto na construção de edifícios. In: III Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e da Arquitetura – ENTECA 2002. *Anais...* Brasil, Maringá, 2002.

FARAH, M. F. S. *Diagnóstico tecnológico da indústria da construção civil: caracterização geral do setor*. Tecnologia das Edificações / Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha. São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações, 1988.

FERREIRA, A. B. H. & J. E. M. M., Editores, Ltda. Novo Dicionário da Língua Portuguesa. Rio de Janeiro: Nova Fronteira S. A., 1. ed., 1975.

FIRENZE. Firenze by net, 2001. Disponível em: <<http://www.mega.it/eng/egui/monu/buq.htm>> Acesso em: 25 ago. 2003.

FRANCO, L. S. *Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria não armada*. Tese (Doutorado em Engenharia) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

_____. *Racionalização construtiva, inovação tecnológica e pesquisas*. In: Curso de Formação em Mutirão EPUSP. São Paulo, 1996.

_____; PARSEKIAN, G. A. Vertical load distribution in masonry buildings – proposed method. In: VII INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES. *Proceedings...* Brasil, Belo Horizonte, 2002.

_____; SOUZA, U. E. L.; SABBATINI, F. H.; MEDEIROS, J. S.; SOLORIZANO, M. G. P.; ROCKENBACH, N. P.; DORNELLES, V. P. *Manual do processo construtivo Poli/Encol: blocos e pré-moldados*. São Paulo, EPUSP, 1991. (Relatório Técnico do Convênio EPUSP/ENCOL, Projeto EP/EM. Rt. N. 20.061).

_____. *Manual do processo construtivo Poli/Encol: execução*. São Paulo, EPUSP, 1991. (Relatório Técnico do Convênio EPUSP/ENCOL, Projeto EP/EM. Rt. N. 20.063).

_____. *Manual do processo construtivo Poli/Encol: projeto*. São Paulo, EPUSP, 1991. (Relatório Técnico do Convênio EPUSP/ENCOL, Projeto EP/EM. Rt. N. 20.060).

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. *Diagnóstico nacional da indústria da construção*. Belo Horizonte, 1984. 20v.

GEHBAUER, F.; EGGENSBERGER, M.; ALBERTI, M. E. E NEWTON, S.A. *Planejamento e Gestão de Obras: um resultado prático da cooperação técnica Brasil – Alemanha*. Curitiba: CEFET-PR, 2002. 520p. il.

GOITIA, F. C.; ANTÓN, P.; PASCUAL, A.; RÓDENAS, M. D.; AZCÁRATE, J. M. *História Geral da Arte: Arquitetura*. Espanha: Ediciones Del Prado, v. 5, 1995.

GUERRINI, F. M.; SACOMANO, J.B. Um sistema de administração da produção para empresas de construção civil: uma proposta com projetos de pesquisa integrados. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO: Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios – Soluções para o Terceiro Milênio. *Proceedings...* São Paulo, 1998.

HENDRY, A. W. *Structural Masonry*. London: Macmillan Press Ltd., 1998. 296p.

_____; SINHA, B. P. Shear tests on full-scale single-storey brickwork structures subject to precompression. In: Civ. Eng. and Pub. Rev. *Journal*, Dec. 1971. p. 1339-1345.

_____; SINHA, B. P.; DAVIES, S. R. *Design of Masonry Structures*. Load Bearing Brickwork Design, 3. ed., London: E & FN, 1997. 271p.

IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Diagnóstico nacional da indústria da construção civil: abordagem histórica*. Relatório n. 18.397. São Paulo, 1983.

KORANI, Y.; DRYSDALE, R. G., CHIDIAC S. Retrofit of reinforced masonry buildings: the state-of-the-art. In: 9TH CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM. *Electronic Proceedings...* Canada, Fredericton, 2001.

KOSKELA, L. Lean construction. In: VII ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – QUALIDADE NO PROCESSO CONSTRUTIVO, ENTAC. *Anais...* v. I, Brasil, Florianópolis, 1998.

LARRAMBEBERE, Gonzalo. *A obra de Eladio Dieste*: inédito. Montevideu, Uruguai, 7 nov. 2003. 2 fitas cassetes (120 min.). Entrevista concedida a Cristina Carvalho.

LARRAMBEBERE, G. Las obras de Eladio Dieste en el exterior de Brasil. In: VI ENCONTRO DE TEORIA E HISTÓRIA DA ARQUITETURA DO RIO GRANDE DO SUL. As Relações Arquitetônicas do Rio Grande do Sul com os Países do Prata. *Anais....* Brasil, Santiago, 2001.

LOMBARDO, G. New technology for traditional materials. In: XXXI WORLD CONGRESS OF INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR HOUSING SCIENCE – IAHS. *Electronic Proceedings...* Canada, Montreal, 2003.

LOURENÇO, P. J. B. B. *Computacional strategies for masonry structures*. Delft: Delft University Press. Thesis (Doctorate in Engineering) Delft University of Technology, Netherlands, 1996.

MACEDO, D.M. *Espaços da arte e da arquitetura*. Reflexão de sua relação(1), 2002. Disponível em: <<http://vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp142.asp>>. Acesso em: 15 maio 2003.

MAESENBER, M. *Thought built architecture* – an argument for Ronchamp's Le Corbusier and the creative process in general. Thesis (não publicada). Barlett School of Architecture, UCL, 1987 *apud* TURKIENICZ, B. Brasília: A arquitetura da crítica. In: ARQUITETURA E URBANISMO. São Paulo: Editora Pini, ano 10, ago./set., 1994.

MAHFUZ, E. C. *Ensaio sobre a razão compositiva; uma investigação sobre a natureza das relações entre as partes e o todo na composição arquitetônica*. Viçosa: UFV, Impr. Univ.; Belo Horizonte: AP Cultural, 1995.

_____. *Traços de uma arquitetura consistente*. 2001. Disponível em: <http://vitruvius.com.br/arquitextos/arq016/arq016_01.asp>. Acesso em: 17 maio 2003.

MAMEDE, F. C.; CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. Vantagens da utilização de pré-moldados leves em edifícios de alvenaria estrutural. In: VII INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES. *Proceedings...* Brasil, Belo Horizonte, 2002.

MAUREMBRECHER, A. H. P.; TRISCHUK, K.; ROUSSEAU, M. Z. Review of factors affecting the durability of repointing mortars for older masonry. In: 9TH CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM. *Electronic Proceedings...* Canada, Fredericton, 2001.

MOOD, J. *History and thought of western man: Mare Nostrum - The Romans*, 2000 a. Disponível em: <<http://www.richeast.org/htwm/Greeks/romans/arch/arch.html>>. Acesso em: 25 fev. 2003.

_____. *History and thought of western man: Mare Nostrum - The Romans*, 2000 b. Disponível em: <<http://www.richeast.org/htwm/Greeks/romans/arch/vault.html>>. Acesso em: 25 fev. 2003.

MULLER, F. *For the worship of God and the service of mean*. Wright e o templo cristão (1), 2003. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp170.asp>>. Acesso em: 16 maio 2003.

MUTTI, C. N. *Treinamento de mão de obra na construção civil: um estudo de caso*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

NASCIMENTO NETO, J. A. *Investigação das solicitações de cisalhamento em edifícios de alvenaria estrutural submetidos a ações horizontais*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Escola de Engenharia de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

NIEMEYER, O. *Meu sócia e eu*. Rio de Janeiro: Revan, 2. ed., 1999.

NOBRE, A. L. *Mario Botta: Território sem fronteiras*. In: ARQUITETURA E URBANISMO. São Paulo: Editora Pini, ano 10, ago./set., 1994.

NOVA ENCICLOPÉDIA ILUSTRADA FOLHA: A enciclopédia das enciclopédias – com o melhor de Larousse, Cambridge, Oxford, Webster. São Paulo: Empresa Folha da Manhã S. A., 2 vol., 1996.

PBQP-H - *Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade na Construção Habitacional* - Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria Nacional de Habitação. Portaria n. 134. Brasília, 1998. Disponível em: <http://www.pbqp-h.gov.br/apresentacao/portaria_do_pbqph.htm>. Acesso em: 15 ago. 2003.

PEDRESCHI, R. *The Engineer's Contribution to Contemporary Architecture - Eladio Dieste*. London: Thomas Telford Ltd., 2000.

_____. Structural behaviour and innovation in pre-stressed brickwork. In: VII INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES. *Proceedings...* Brasil, Belo Horizonte, 2002.

PHOTOGUIDE.TO. Photoguide.to / Barcelona, 1998. Disponível em: <<http://www.photoguide.to/barcelona/sagradafamilia.html>>. Acesso em: 26 ago. 2003.

RAMAN, P. G. Structural masonry and architectural expression. In: VII INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES. *Proceedings...* Brasil, Belo Horizonte, 2002.

RANDOM HOUSE WEBSTER'S UNABRIDGED DICTIONARY. Collexion Reference Software copyright. Random House Inc., 1999.

REGO, R. L. *A poética do desassossego: a arquitetura de Álvaro Siza*. 2001. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq010/arq010_03.asp>. Acesso em: 15 maio 2003.

RILEM. MS-B4. *Determination of shear strength index for masonry unit/mortar junction* (Recommendations). Materials and Structures, v. 29, p. 459-75, Oct., 1996.

RIVARD, H.; FENVES, S. J. *A representation for conceptual design of buildings*. In: JOURNAL OF COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING. v. 14, n. 3, p. 151-159, July, 2000.

ROBERTS, J.; BRIGHT, N. Low strength masonry units: evaluating potential applications in the context of the new European codes and standards. In: 9th CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM. *Electronic Proceedings...* Canada, Fredericton, 2001.

ROCHA, A. A. *Antonio Gaudi: 150 anos de arquitetura inovadora*, 2002. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp149.asp>>. Acesso em: 15 maio 2003.

ROMAN, H. R. *Alvenaria estrutural: desenvolvimento e perspectivas*. Monografia (Concurso para professor titular) Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

_____; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. *Construindo em alvenaria estrutural*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1999.

_____; SINHA, B. P. Shear strength of concrete block masonry. In: 5TH INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES. *Proceedings...* p. 251-9. Brasil, Florianópolis, 1994.

SABBATINI, F. H. *Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos – formulação e aplicação de uma metodologia*. Tese (Doutorado em engenharia) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SAMARASINGHE, W.; SANKARAN, R. Threats to conventional masonry – Australian experience. In: VII INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES. *Proceedings...* Brasil, Belo Horizonte, 2002.

SAN MARTIN, A. P.; FORMOSO, C. T. Método de avaliação de sistemas construtivos para a habitação de interesse social sob o ponto de vista da gestão da produção. In: VII ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – QUALIDADE NO PROCESSO CONSTRUTIVO, ENTAC. *Anais...* v. II, Brasil, Florianópolis, 1998.

SANTOS, F. A. *Efeito do não- preenchimento de juntas verticais no desempenho de edifícios em alvenaria estrutural*. Tese (Doutorado em Engenharia) Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

_____; SINHA, B. P. Lateral load-deflection relationship of single-storey masonry shear wall structures with filled and unfilled vertical mortar joints. In: VII INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES. *Proceedings...* Brasil, Belo Horizonte, 2002.

SARRABLO, V.; ALMANSA, F. L.; ROCA, P. *Eladio Dieste: la estructura cerámica armada*. Apunts ESARQ UIC. 2002. Disponível em: <<http://www.única.edi/ESARQ>>. Acesso em: 12 fev. 2003.

SEGMENTO ÁUREO, 19xx. *Matemática Essencial*. Disponível em: <<http://pessoal.sercomtel.com.br/matematica/alegria/fibon/seqfib2.htm#fib31>>. Acesso em: 23 dez. 2003.

SEVILLA. Dirección General de Arquitectura y Vivenda (Org.). *Eladio Dieste 1943-1996: metodos de cálculo = Eladio Dieste 1943-1996: methods of calculation*: [catálogo de la exposición]. Sevilla: Consejería de Obras Públicas y Transportes, 2 v., il., 1996.

SILVA, G. G. *Arquitetura do ferro no Brasil*. São Paulo: Nobel, 1986.

Referências Bibliográficas

SINHA, B. P.; HENDRY, A. W. *Structural testing of brickwork in a disused quarry*. In: Proc. Inst. Civil Eng. Part 1, 1976. p. 153-162.

TGBC. THE GREAT BUILDINGS COLLECTION, 1997a. Disponível em: <<http://www.greatbuildings.com/buildings>>. Acesso em: 25 ago. 2003.

_____. THE GREAT BUILDINGS COLLECTION, 1997 b. Disponível em: <<http://www.greatbuildings.com/architects>> Acesso em: 26 ago. 2003.

THE MODULOR, 19xx. Disponível em : <http://www.owl.net.rice.edu/~abyrge/Le_Corbusier/Manifestos/modulor.html>. Acesso em: 23 dez. 2003.

THEODOSSOPOULOS, D.; SINHA, B. P. A study on free-standing masonry vaults of Eladio Dieste. In: VII INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES. *Proceedings...* Brasil, Belo Horizonte, 2002.

TURKIENICZ, B. *Brasília: A arquitetura da crítica*. In: ARQUITETURA E URBANISMO. São Paulo: Editora Pini, ano 10, ago./set., 1994.

VARGAS, N. *Organização do trabalho e capital: um estudo da construção habitacional*. Rio de Janeiro: Coppe-UFRJ, 1979.